

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS**

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE AMILOSE E
BENEFICIAMENTO DO ARROZ NA RESPOSTA
BIOLÓGICA DE RATOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cristiane Casagrande Denardin

Santa Maria, RS, Brasil

2008

INFLUÊNCIA DO TEOR DE AMILOSE E BENEFICIAMENTO DO ARROZ NA RESPOSTA BIOLÓGICA DE RATOS

por

Cristiane Casagrande Denardin

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Linha de Pesquisa em Qualidade de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dra. Leila Picolli da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DO TEOR DE AMILOSE E BENEFICIAMENTO DO
ARROZ NA RESPOSTA BIOLÓGICA DE RATOS**

elaborada por
Cristiane Casagrande Denardin

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

COMISSÃO EXAMINADORA:

Leila Picolli da Silva, Dra.
(Presidente/Orientador)

Léris Salete Bonfanti Haeffner, Dra. (UFSM)

Luisa Helena R. Hecktheuer, Dra. (UFSM)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2008.

Dedico este trabalho aos meus pais. A minha mãe, Maria Inez, que com todo amor e dedicação lutou a vida inteira para que todos os seus filhos alcançassem seus objetivos, além da educação intelectual e moral. Mãe, amiga, companheira, tenho certeza que sempre estaremos juntas além desta vida!

Ao meu pai de “coração” Ivan, por todo o amor, compreensão, amizade, confiança, força e tempo que sempre me dedicou. E, principalmente, por ter me adotado com todo amor do seu coração.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, justo e perfeito, pela oportunidade de evoluir nesta vida, por me iluminar e estar sempre comigo, mesmo em momentos que duvidei de sua existência.

Aos meus pais que dedicaram sua vida a minha educação e minha felicidade, sempre me dando muito amor, confiança e força. Em especial a minha mãe, Maria Inez, por ter ficado ao meu lado durante as “tempestades” que passamos em nossas vidas.

A minha orientadora, Leila, pela oportunidade, confiança e por todos os ensinamentos a mim passados. Grande amiga e exemplo de dedicação e amor à pesquisa. Acredito que tudo o que sou hoje foi graças à convivência que tivemos no laboratório e na vida. Obrigado pelo apoio nos momentos mais difíceis da minha vida e por ter despertado em mim o amor pela pesquisa. Enfim, muito obrigada por tudo.

A minha co-orientadora, Tatiana (Tati), outro grande exemplo de dedicação e amor à pesquisa, que me ensinou muitas coisas durante minha graduação e mestrado. Obrigado por ter me chamado para fazer estágio no Nidal e por ter me apresentado a Leila.

As minhas estagiárias, Nardeli e Patrícia, que me auxiliaram em muitas análises e principalmente a cuidar dos nossos ratinhos.

Ao pessoal do NIDAL, “uma grande família”, a todos que ainda estão por lá e aos que já seguiram a sua jornada, é impossível citar a contribuição de cada um de vocês, mas meu coração sabe o quanto deve a cada um. Em especial aos Tropeiros do NIDAL, pelas parcerias, cantorias e companheirismo no laboratório.

Aos meus amigos, em especial a Carol e Melissa, que sempre estiveram junto comigo, dando conselhos, fazendo festas ou apenas me escutando.

Ao curso e aos professores da pós-graduação pelos auxílios prestados.

Ao IRGA, em especial ao Fagundes, que além do apoio financeiro e fornecimento das amostras de arroz, também esteve presente em diversos momentos, incentivando e ajudando com a pesquisa.

A LABTEST, pela doação dos *kits* para as análises de parâmetros sanguíneos.

Aos funcionários de curso, Lia, e ao funcionário do NIDAL, Carlos.

Aos funcionários do Biotério central da UFSM pelo fornecimento dos animais, atenção e auxílios prestados durante os experimentos.

A CAPES pelo apoio financeiro e a UFSM, por tornar possível o sonho de todos nós e promover o desenvolvimento intelectual e científico do Brasil.

A todos meus sinceros agradecimentos.

“Sou livre quando amo o que faço. Sou livre quando aceito que o mais importante é a minha consciência. Sou livre quando sei que, na hora do fracasso é sempre tempo de começar outra vez. Sou livre quando sou capaz de amar o instante da vida que eu tenho nas mãos.”

Juan Arias

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos
Universidade Federal de Santa Maria

INFLUÊNCIA DO TEOR DE AMILOSE E BENEFICIAMENTO DO ARROZ NA RESPOSTA BIOLÓGICA EM RATOS

AUTORA: CRISTIANE CASAGRANDE DENARDIN

ORIENTADORA: LEILA PICOLLI DA SILVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2008

O arroz é um dos cereais mais consumidos pela população mundial, representando a principal fonte de energia da dieta para cerca de 1,2 bilhões de pessoas. Sabe-se que a taxa e extensão da digestão do amido neste cereal podem ser influenciadas por diferentes fatores, destacando-se a variação na proporção amilose:amilopectina e o processamento dos grãos (parboilização). Além disso, embora o arroz ainda seja o alimento energético mais consumido na mesa da população brasileira, seu consumo foi reduzido em 13,5% nos últimos anos, sendo o macarrão, seu principal competidor. Neste contexto, a presente pesquisa foi conduzida a fim de avaliar o efeito de dietas elaboradas com grãos de arroz com teores variados de amilose (alto, intermediário e baixo) ou submetidos a diferentes formas de processamento (somente polimento e parboilização); bem como, o efeito da substituição do arroz pelo macarrão em dietas isonutritivas, sobre parâmetros de resposta biológica em ratos. Para isso foram utilizados ratos machos Wistar alimentados com: a) grãos de arroz com alto (IRGA 417), intermediário (IRGA 416) e baixo (Mochi) teores de amilose; b) grãos do cultivar IRGA 417 submetidos a diferentes processamentos (branco e parboilizado), ou c) grãos de arroz branco (IRGA 417) e macarrão tipo espaguete; cozidos, secos em estufa com circulação forçada de ar e moídos. A proporção amilose:amilopectina nos grãos afetou significativamente a digestão do amido de arroz no trato gastrointestinal, sendo que o tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417) apresentou menor consumo, ganho de peso e digestibilidade aparente, maior umidade nas fezes e excreção de nitrogênio, reduzido pH fecal, concentração plasmática pós-prandial de glicose, colesterol total, triglicerídeos e peso do pâncreas; bem como, maior concentração de glicose no jejum e peso do fígado. As mudanças estruturais nos constituintes do arroz provocadas pela parboilização, levaram a variações em diversos parâmetros metabólicos fundamentais para o organismo, sendo que os animais submetidos ao tratamento com arroz parboilizado apresentaram maior ganho de peso e consumo; menor conversão alimentar; menor pH fecal e maior excreção de nitrogênio nas fezes; menores níveis de albumina e colesterol HDL; maiores concentrações de triglicerídeos e ácido úrico e maior peso do pâncreas do que os animais do tratamento com arroz branco. Já o consumo de macarrão em substituição ao arroz resultou em uma menor produção de fezes úmidas e secas, nitrogênio nas fezes e colesterol HDL, e maior digestibilidade da matéria seca, concentração plasmática de ácido úrico, colesterol total, peso dos rins e pâncreas dos animais.

Palavras-chave: alimentos amiláceos; resposta metabólica; ratos

ABSTRACT

Master Dissertation
Federal University of Santa Maria

INFLUENCE OF AMYLOSE CONTENT AND PROCESSING OF RICE IN THE BIOLOGICAL RESPONSE IN RATS

AUTHOR: CRISTIANE CASAGRANDE DENARDIN

ADVISER: LEILA PICOLLI DA SILVA

Date and Place of the defense: Santa Maria, February 28, 2008

Rice is one of the most important cereal consumed worldwide, being the main source of energy for 1.2 billion of people. Besides, rate and extension of rice starch digestion can be influenced by different factors, including amylose content and grain processing (parboiling). However, Brazilian rice consumption fell 13.5% in the last few years being pasta a substitute for this cereal. The objective of this work was to evaluate the effects of rice grains with different amylose content (high, intermediated and low) or submitted to parboiling in the rat biological response, as well as to determinate the effect of to replace the rice by pasta. Male Wistar rats were fed with diets containing a) white grains of rice cultivars with high (IRGA 417), intermediate (IRGA 416) and low (Mochi) amylose content; b) white and parboiled grains of rice cultivar IRGA 417; and c) white grains of rice cultivar IRGA 417 and pasta (spaghetti); after cooked, hot-air dried at 50°C and grounded. Amylose:amylopectin ratio significantly affected rice starch digestion in the gastrointestinal tract, being rats fed with high amylose content (IRGA 417) treatment showed lower feed intake, body weight gain, apparent digestibility, postprandial blood glucose response, serum total cholesterol and triglycerides levels and pancreas weight, reduced fecal pH, and higher fecal water content, nitrogen excretion, fasting serum glucose concentration and liver weight. The structural change of rice components caused by parboiling provoked variations in different body metabolic parameters, being rats fed with parboiled rice treatment showed higher body weight gain, feed intake, nitrogen excretion, serum triglycerides and uric acid levels, and pancreas weight, and lower feed conversion, fecal pH, albumin and serum HDL cholesterol than white rice treatment. Pasta replacing rice consumption resulted in rats with lower wet and dry fecal production, nitrogen excretion and serum HDL cholesterol, and higher apparent dry matter digestibility, serum uric acid and total cholesterol levels, and kidney and pancreas weights.

Keywords: starchy foods; metabolic response; rats

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. ARTIGO 1.....	13
ESTRUTURA DOS GRÂNULOS DE AMIDO E SUA RELAÇÃO COM PROPRIEDADES FISICOQUÍMICAS.....	13
2.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – PARTE 2.....	37
2.2.1. EFEITO DA VARIAÇÃO NA PROPORÇÃO AMILOSE:AMILOPECTINA DO ARROZ SOBRE A RESPOSTA BIOLÓGICA.....	37
2.2.2. EFEITO DO PROCESSAMENTO DO ARROZ SOBRE A RESPOSTA BIOLÓGICA.....	38
2.2.3. CONSUMO DE ARROZ <i>VERSUS</i> MACARRÃO.....	41
3. TRABALHOS DESENVOLVIDOS.....	44
3.1. ARTIGO 2 – VERSÃO ORIGINAL.....	45
EFFECT OF AMYLOSE CONTENT ON PERFORMANCE, GLYCEMIC AND LIPIDIC METABOLISM IN RATS.....	45
3.2. ARTIGO 2 – VERSÃO EM PORTUGUÊS.....	69
EFEITO DOS TEORES DE AMILOSE SOBRE O DESEMPENHO, METABOLISMO GLICÊMICO E LIPÍDICO EM RATOS.....	69
3.3. ARTIGO 3.....	90
EFEITO DO BENEFICIAMENTO DO ARROZ NO DESEMPENHO E RESPOSTA METABÓLICA EM RATOS.....	90
3.4. ARTIGO 4.....	111
INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE ARROZ OU DE MACARRÃO NO DESEMPENHO E RESPOSTA BIOLÓGICA EM RATOS.....	111
4. DISCUSSÃO GERAL.....	132
5. CONCLUSÕES.....	135
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	136
7. ANEXOS.....	149

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas em todo mundo e, ao menos para a metade dessa mesma população constitui-se a principal fonte de energia da dieta, devido ao fato de ser composto basicamente de carboidratos (Hu et al., 2004), em especial amido, que constitui até 90% do grão branco polido. Cultivado e consumido em todos os continentes, o arroz destaca-se por ser um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo cerca de 20% da energia e 15% da proteína *per capita* necessária ao homem, e sendo uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima, é considerada a espécie que apresenta maior potencial para o combate a fome no mundo (Embrapa Clima Temperado, 2005).

Segundo dados da Embrapa Clima Temperado (2005), a América Latina ocupa o segundo lugar em produção e o terceiro em consumo de arroz. Já o Brasil destaca-se como o maior produtor fora do continente Asiático, sendo que em 2001, a produção Brasileira representou 1,8% do total mundial, e cerca de 50% da América Latina. Além disso, o Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, com cerca de 11 milhões de toneladas, e o cultivo do arroz irrigado está presente em todas as Regiões brasileiras, destacando-se a Região Sul, que é responsável, atualmente, por 60% da produção total deste cereal. O Estado do Rio Grande do Sul produziu cerca de 6,8 mil toneladas de arroz na safra 2005/2006, sendo o cultivar IRGA 417 o mais cultivado, perfazendo 28,7% da área plantada, e também o mais consumido (IRGA, 2007). Quanto ao consumo, o arroz ainda é o cereal mais utilizado na dieta dos brasileiros (25Kg/habitante/ano), fornecendo aproximadamente 12% das proteínas e 18% das calorias da dieta básica nacional (Embrapa Arroz e Feijão, 2005).

Neste cereal destaca-se não só seu elevado teor em amido, mas também a variação deste constituinte entre grãos de diferentes cultivares, provocada por fatores genéticos e ambientais, como observado por Frei et al. (2003), que encontraram valores de amido total entre 72 e 82% em grãos de arroz integral de seis cultivares plantados nas Filipinas. Além disso, a taxa e extensão da digestão do amido podem ser influenciadas por diferentes fatores, destacando-se a variação na proporção amilose:amilopectina, o processamento dos grãos (principalmente devido a parboilização), as propriedades físico-químicas (particularmente as características de gelatinização), o tamanho de partícula e a presença de complexos amilose-lipídio (Hu et al., 2004).

Estes fatores afetam significativamente algumas respostas metabólicas essenciais ao organismo humano, como glicemia e insulinemia (Coffman & Juliano, 1987). Embora o arroz seja geralmente classificado como um alimento de alta resposta glicêmica quando comparado a outros produtos amiláceos, encontra-se na literatura resultados de índice glicêmico que variam de 54 a 121% para o arroz branco (Jenkins et al, 1981; Brand et al, 1985; Brand-Miller et al, 1992) e de 39 a 67% para o arroz parboilizado, dependendo do grau de parboilização (Wolever & Jenkins, 1986; Rasmussen et al, 1992; Larsen et al, 2000), evidenciando a importância do estudo destes fatores sobre a resposta metabólica ao arroz consumido.

No âmbito de mercado, diversos estudos têm demonstrado uma queda de aproximadamente 13,5% no consumo de arroz no país da década de 80 até os dias atuais, devido, principalmente, a mudança no estilo de vida da sociedade moderna (Arroz em Foco, 2005; Embrapa Arroz e Feijão, 2005). Em contrapartida, o macarrão, que é o principal alimento amiláceo que compete com o arroz na mesa da população brasileira, vem apresentando consumo crescente na mesa da população brasileira, que hoje corresponde a 5,6 Kg por pessoa/ano. Segundo dados da Abima (2007), o macarrão está inserido no grupo dos carboidratos complexos, apresentando um índice glicêmico entre baixo e moderado, sendo sua ingestão recomendada na alimentação escolar e hospitalar. Porém, estas informações são contraditórias, uma vez que existem indícios de que o consumo crescente de macarrão, em detrimento ao tradicional arroz com feijão, seria uma das principais causas do aumento da incidência de desnutrição protéica e obesidade adulta e infantil, principalmente nas populações carentes.

Desta forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito de dietas elaboradas com grãos de cultivares de arroz submetidos a diferentes formas de processamento (branco ou parboilizado) e com teores variados de amilose (alto, intermediário e baixo) sobre o metabolismo glicêmico e lipídico, bem como, sobre demais parâmetros de resposta biológica em ratos. Além disso, também foi avaliado o efeito do consumo de arroz e macarrão na resposta biológica de ratos. Nessa perspectiva, os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito do consumo de arroz com teores crescentes de amilose sobre o metabolismo glicêmico e lipídico em ratos.
- Determinar o efeito do consumo de dietas elaboradas com grãos de cultivares de arroz submetidos a diferentes formas de processamento (branco ou parboilizado) sobre a resposta biológica em ratos.
- Investigar o efeito do consumo de arroz e de macarrão no desempenho e resposta biológica em ratos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ARTIGO 1

Submetido a Revista de Nutrição

(Configuração conforme normas da revista – Anexo 1)

ESTRUTURA DOS GRÂNULOS DE AMIDO E SUA RELAÇÃO COM PROPRIEDADES FÍSICOQUÍMICAS¹

STARCH GRANULES STRUCTURE AND HIS REGARDS WITH PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

Cristiane Casagrande DENARDIN²

Leila Picolli da SILVA³

RESUMO

Devido aos escassos trabalhos brasileiros nesta área, esta revisão nos mostra os avanços atuais na elucidação da arquitetura e disposição dos componentes moleculares no grânulo de amido. Além disso, algumas pesquisas realizadas avaliando a relação existente entre a estrutura molecular do amido e seu comportamento nas propriedades físicoquímicas sugerem que algumas características estruturais, como conteúdo de amilose, distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e cristalinidade no grânulo estejam intimamente relacionadas a eventos associados a gelatinização e retrogradação, como inchamento do grânulo, lixiviação de amilose e/ou amilopectina, perda da estrutura radial (birrefringência), supra-molecular (cristalinidade) e molecular; e recristalização. Neste contexto, torna-se clara a necessidade de reunir tais estudos visando um maior entendimento da estrutura e características dos

¹ Pesquisa desenvolvida para obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

² Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

³ Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Av. Roraima, s/n, Campus Universitário, Camobi, 97015-900 Santa Maria, RS, Brasil.

Correspondência para/Correspondence to: C.C.DENARDIN. E-mail: <cristiane_denardin@yahoo.com.br>.

componentes do amido e sua relação com propriedades físicoquímicas de grande importância nutricional e tecnológica.

Termos de indexação: estrutura do amido, gelatinização, retrogradação

ABSTRACT

This review displays the actual advances in the architecture and arrangement of molecular constituents within the starch granule. Moreover, some researches assess the relationship between molecular structure and physicochemical properties behavior to imply which some structural features, such as amylose content, amylopectin chain length distribution and relative crystallinity are inner related to events associated with gelatinization and retrogradation, such as starch granule swelling, amylose and/or amylopectin leaching, loss of radial birefringence, supra-molecular (crystallinity) and molecular order; and recrystallisation. In this context, this review examines the current researches to aim the higher understanding about the granule structure and characteristics of starch components and physicochemical properties that could play a significant role in improving the quality of different food products.

Indexing terms: starch structure, gelatinization, retrogradation

INTRODUÇÃO

O amido encontra-se amplamente distribuído em diversas espécies vegetais, como carboidrato de reserva, sendo abundante em grãos de cereais (40-90% do peso seco), leguminosas (30-50% do peso seco), tubérculos (65-85% do peso seco) e frutas imaturas ou verdes (40-70% do peso seco). É também, a fonte mais importante de carboidratos na alimentação humana, representando 80-90% de todos os polissacarídeos da dieta. Além disso, é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que caracterizam grande parte dos produtos processados.

Sendo formado nos plastídeos das plantas superiores, o amido é sintetizado nas folhas, onde serve como carboidrato de reserva temporário, acumulando-se nos cloroplastos durante o dia e servindo como fonte principal para a síntese de sacarose citosólica durante a noite. Esta sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutas, tubérculos e raízes³.

Estruturalmente, o amido é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina. A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, originando uma cadeia linear. Já a amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6, formando uma estrutura ramificada. As proporções em que estas estruturas aparecem, diferem entre as fontes, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta^{1,2}.

A amilopectina é, estruturalmente e funcionalmente, a mais importante das duas frações, pois sozinha é suficiente para formar o grânulo, como ocorre em mutantes que são desprovidos de amilose. Quanto a amilose, sua localização precisa dentro do grânulo ainda é uma tarefa difícil. Acredita-se que ela esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeada entre as regiões amorfas e cristalinas. As moléculas de amilose maiores estão concentradas no centro do grânulo e, provavelmente, participam das duplas hélices com a amilopectina, enquanto as moléculas menores presentes na periferia podem ser lixiviadas para fora do grânulo. Apesar de seu limitado papel na formação de cristais, a amilose pode influenciar a organização das duplas hélices, interferindo com a densidade de empacotamento das cadeias de amilopectina⁴.

FORMAS MOLECULARES

AMILOSE

A amilose é um polímero essencialmente linear de unidades de α -D-glicopiranosose ligadas em α -(1-4) com poucas (entre 0,1-2,2% de acordo com pesquisas^{4,5,6}) ligações α -(1-6) (Figura 1). Ela tem um número médio de grau de polimerização (DP) de 500-5000 unidades de resíduos de glicose⁴, comprimentos médios de cadeia (CL) de 250-670 e limite de β -amilose entre 73-95%, o qual está relacionado às proporções lineares e ramificadas da molécula, a quantidade e localização das ramificações e o comprimento da cadeia^{3,7}.

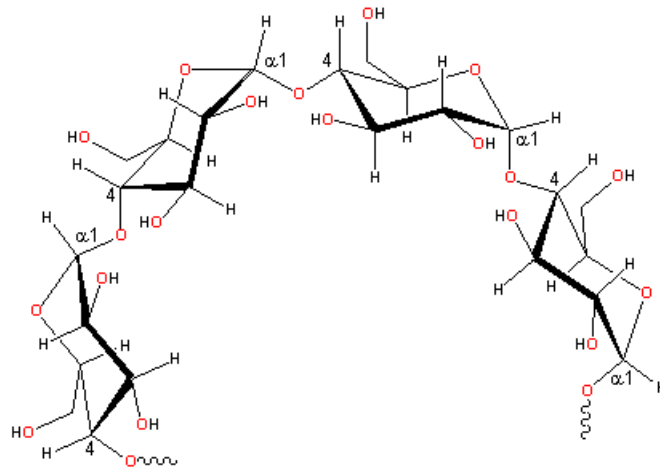


Figura 1. Estrutura da amilose [polímero linear composto por D-glicoses unidas em α -(1-4)]. Adaptado de Lajolo & Menezes⁸.

O peso molecular é da ordem de 250.000 (1500 unidades de glicose), mas varia muito não somente entre as espécies de plantas, mas também dentro da mesma espécie e depende também do grau de maturação. Moléculas de amilose de cereais são geralmente menores do que aquelas de outras origens, especialmente no milho rico em amilose. Moléculas pequenas tem um maior limite de β -amilose^{2,7}.

Níveis típicos de amilose encontram-se entre 15-25%, contudo, alguns cereais denominados cerosos (waxy) (milho, arroz e cevada) são virtualmente livres de amilose, enquanto mutantes com altos níveis de amilose também são conhecidos. Os mutantes amilose

extender (*ae*) do milho apresentam conteúdos de amilose que variam de 50-85%. Os mutantes *ae* do arroz apresentam conteúdos de amilose que variam de 35-40%³.

A amilose pode estar presente sob a forma de complexos amilose-lipídios (LAM) ou de amilose livre (FAM), sendo que os LAM, embora detectados no amido nativo, possivelmente sejam formados em maior extensão durante o tratamento hidrotérmico ou a gelatinização^{1,2,3,7}.

Muitas das propriedades da amilose podem ser explicadas pela sua habilidade em formar diferentes estruturas moleculares. A maioria das metodologias preconizadas para determinação deste tipo de amido baseiam-se no fato de que, em soluções aquosas neutras, a estrutura normal de espiral possui a capacidade de interagir com iodo, produzindo um complexo de inclusão helicoidal com aproximadamente 6 moléculas de amilose por giro, no qual o iodo se encontra na cavidade central da hélice.

Além disso, mudanças moleculares tornam possível a formação de complexos com moléculas de lipídios nas regiões superficiais do grânulo, o que inibe a degradação do amido por enzimas como fosforilase, α -amilase e β -amilase. Outros complexos de inclusão helicoidal que podem ser formados com a amilose incluem alguns álcoois e ácidos orgânicos^{2,7,8}.

AMILOPECTINA

A amilopectina é o componente ramificado do amido. É formado por cadeias de resíduos de α -D-glicopirranose (entre 17 e 25 unidades) unidos em α -(1-4) sendo fortemente ramificada, com 4-6% de ligações α -(1-6) (Figura 2). O peso molecular da amilopectina varia entre 50 e 500 x 10⁶ Daltons^{3,8}.

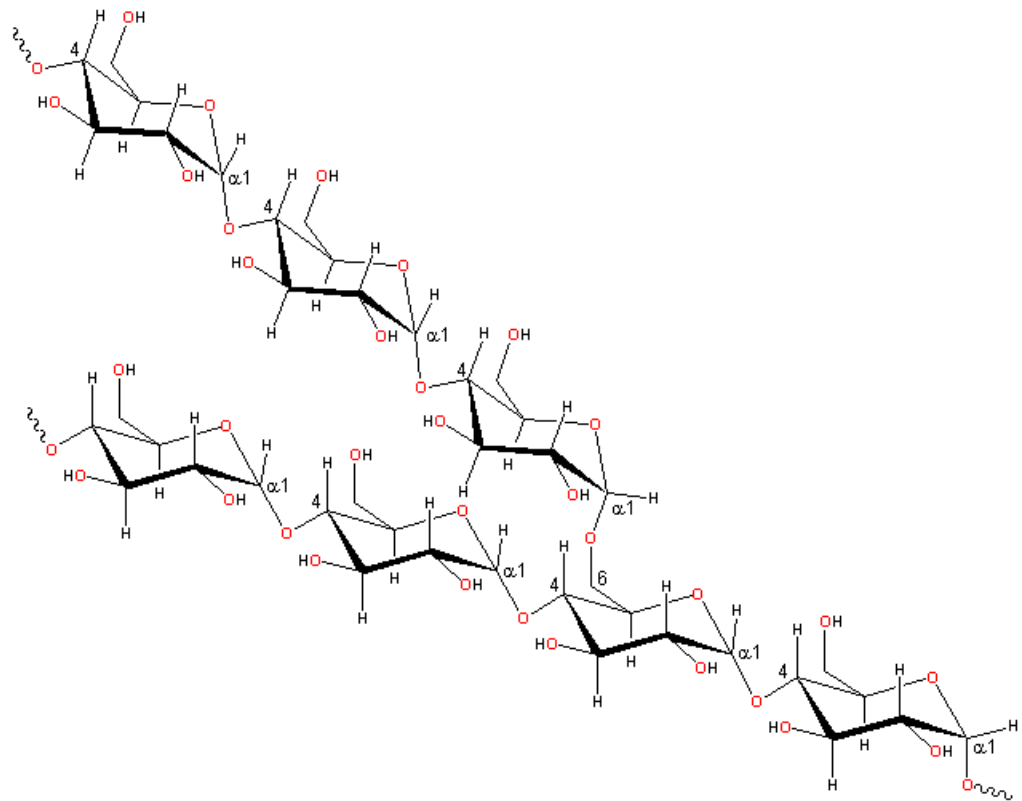


Figura 2. Estrutura da amilopectina [polímero ramificado composto por D-glicoses unidas em α -(1-4) e α -(1-6)]. Adaptado de Lajolo & Menezes⁸.

Segundo Vandeputte & Delcour³, a amilopectina apresenta um DP de 4700-12800 unidades de resíduos de glicose, valores de CL de 17-24 e limite de β -amilose de 55-60%. As cadeias individuais podem variar entre 10 e 100 unidades de glicose. A amilopectina do amido de arroz apresenta DP que varia de 8200-12800 unidades de resíduos de glicose, CL entre 19-23, limite de β -amilose entre 49-59%, comprimento médio de cadeias externas (ECL) de 11,3-15,8 e comprimento médio de cadeias internas (ICL) de 3,2-5,7 resíduos de glicose.

Segundo Lajolo & Menezes⁸, a amilopectina é digestivamente degradada pela ação da β -amilase nas uniões α -(1-4), produzindo dextrinas β -limite (que são as cadeias residuais que contém os pontos de ramificação), e depois, por ação das enzimas pululanase e isoamilase que atuam nas ligações α -(1-6) produzindo maltose.

As cadeias de amilopectina estão organizadas de maneiras diferentes, surgindo uma classificação de cadeias A, B e C (Figura 3). 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 através 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 através de um grupo hidroxila primário. Já 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^{2,3,7,8}.

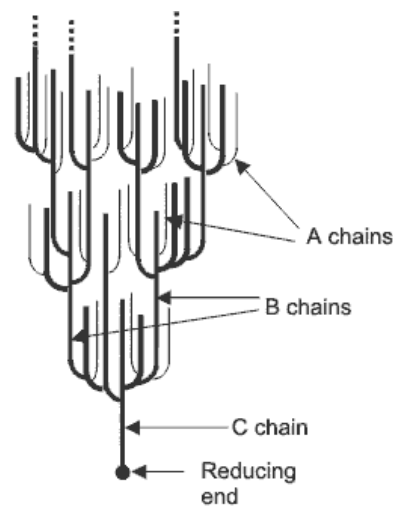


Figura 3. Classificação das cadeias da amilopectina em tipo A, B e C. Adaptado de Parker & Ring³⁵.

As cadeias individuais podem ser especificamente classificadas de acordo com seu comprimento (comprimento de cadeia, CL) e conseqüentemente, posição dentro dos grânulos^{9,10}. Segundo Tester¹ e Vandeputte & Delcour³, a amilopectina tem uma distribuição polimodal com cadeias A (CL 12-16) e B, isto é, cadeias B₁ (CL 20-24), B₂ (CL 42-48), B₃ (CL 69-75) e B₄ (CL 104-140). As cadeias A e B₁ formam cachos simples, são mais externas e organizadas em dupla hélice, enquanto B₂, B₃ e B₄ se estendem em 2, 3 e mais de 4 cachos. As cadeias C são muito semelhantes entre as fontes botânicas com variação de tamanho entre 10 e 130 unidades de glicose, a maioria tendo por volta de 40 unidades.

MATERIAL INTERMEDIÁRIO

Lansky e colaboradores¹¹ propuseram em 1949 que existe um terceiro componente no amido de milho normal, chamado de material intermediário (MI), com propriedades diferentes da amilose e amilopectina. Este componente pode também apresentar papel importante na determinação das propriedades funcionais do amido. A presença de um grande número de cadeias ramificadas curtas neste componente pode contribuir para a menor cristalinidade granular, temperatura de gelatinização, mudança na entalpia, viscosidade e grau de retrogradação e maior grau de digestibilidade pelas enzimas que promovem a hidrólise enzimática. Por outro lado, moléculas ramificadas que apresentam longos comprimentos de cadeias e menores graus de ramificação podem contribuir para a maior cristalinidade, temperatura de gelatinização, grau de retrogradação, viscosidade e firmeza de gel¹². Baseado em estudos de afinidades por iodo, estes pesquisadores sugeriram que 5 a 7% do amido de milho normal consiste de material intermediário entre as frações estritamente lineares e altamente ramificadas².

Porém, o conceito de material intermediário ainda é obscuro devido a dificuldades no seu isolamento e purificação, sendo que o principal critério para classificação ainda é o grau de ramificação e o peso molecular⁷. Alguns pesquisadores consideram as amiloses ramificadas, com 20 ou mais pontos de ramificação em média, como sendo intermediários^{2,7,37}. Contudo, existem aqueles que não reconhecem esta amilose ramificada como intermediário, uma vez que suas propriedades são muito semelhantes aquelas da amilose^{13,14}. Esta controvérsia ocorre devido às dificuldades ainda enfrentadas na caracterização da amilose e amilopectina, nos quais os limites nas propriedades ainda são muito vagos e confusos.

A fração amilopectina do amido de milho rico em amilose foi sugerida por Wolf e colaboradores¹⁵ como tendo propriedades intermediárias devido as cadeias externas e internas mais longas quando comparado como o milho normal. Este material possui aproximadamente 55% de material intermediário, 20% de amilopectina e 25% de amilose. Na década de 80, um material intermediário, semelhante aquele do milho rico em amilose e de baixo peso molecular, foi isolado da fração amilopectina do amido de ervilha rugosa¹⁶. Este material está presente em aproximadamente 29% da ervilha rugosa e somente 0,4% na ervilha lisa, sendo caracterizado por uma afinidade ao iodo (IA) de 8,7-9,56; comprimento de onda máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) de 580nm; limite de β -amilose de 70% e viscosidade $[\eta]$ de 19mL/g. Estas propriedades são características de material intermediário, além do que, este material pode ser uma mistura de várias espécies moleculares como ocorre no amido de milho rico em amilose. Mais tarde, Bertoft¹⁷ sugeriu que o material intermediário da ervilha rugosa teria maiores proporções de cadeias longas com menor peso molecular.

COMPONENTES SECUNDÁRIOS ASSOCIADOS AO AMIDO

Os grânulos de amido possuem um conteúdo de umidade que varia de aproximadamente 10-12% (cereais) até 14-18% (algumas raízes e tubérculos)¹. Embora a molécula de amido seja composta fundamentalmente por glicose, vários constituintes minoritários que afetam suas propriedades podem estar presentes, associados ou como contaminantes.

Os grânulos de amidos nos cereais (fontes não cereais não contém lipídios) contêm lipídios integrais na forma de lisofosfolipídios (LPL) e ácidos graxos livres (FFA) que são positivamente relacionados à fração amilose, sendo que os LPL podem compor entre 0,5 e 2% do peso do amido (amidos de cereais com alto teor de amilose)^{1,18}. Os lisofosfolipídios são os principais componentes lipídicos no amido de trigo, cevada, centeio e triticale, enquanto que

ácidos graxos livres compõe cerca de 1/3 ou metade dos lipídios nos amidos de milho e arroz normais. Os amidos de milho e arroz cerosos possuem somente cerca de 1/10 do conteúdo de lipídios quando comparados com os amidos normais, enquanto que o amido de milho rico em amilose pode conter aproximadamente 50% a mais de lipídios do que o amido de milho normal sendo os principais componentes ácidos graxos livres⁷.

Nos amidos com alto teor de amilose, estes lipídios (LPL) formam complexos helicoidais com a amilose, sendo estes insolúveis em água e apresentam temperaturas de dissociação acima de 93°C. Existem discussões sobre a existência destes complexos no grânulo de amido nativo, porém é certo que sua formação é favorecida durante a gelatinização do amido. Alguns estudos sugerem sua existência antes da gelatinização, pelo menos para alguns amidos, os quais apresentam padrão de difração de raios X tipo V, sendo encontrados, principalmente, em fontes com alto teor de amilose, com genes como o *amilose extender (ae)* e opacos ou doces^{1,2,7}.

Além disso, o grânulo pode também estar contaminado por lipídios de superfície. Os principais contaminantes incluem triglicerídeos, glicolipídios, fosfolipídios e ácidos graxos livres derivados da membrana do amiloplasto e de fontes não-amido^{19,20,21}.

Amidos purificados contêm menos de 0,6% de proteínas, ocorrendo na superfície (proteínas não derivadas do amido) e, indiferente da origem, encontram-se incrustadas dentro da matrix dos grânulos. Estas proteínas presentes são, principalmente, proteínas de armazenamento ou resíduos de enzimas de síntese ou degradação do amido, podendo tornar-se ativas se expostas a certas condições, influenciando a funcionalidade do amido^{1,2,7}. Já as proteínas de armazenamento podem existir principalmente como corpos protéicos (PB), isto é, PB I (principalmente prolaminas) e PB II (principalmente glutelina)³.

A molécula de amido também contém quantidades relativamente pequenas (menos de 0,4%) de minerais (cálcio, magnésio, fósforo, potássio e sódio) que apresentam pouca

funcionalidade, com exceção do fósforo, o qual pode estar presente sob três formas: monoésteres de fosfato, fosfolipídios e fosfatos inorgânicos. Monoésteres de fosfato estão seletivamente ligados a regiões específicas dentro da molécula de amilopectina, sendo que os cereais contêm menos que 20 ppm deste mineral^{3,8,22}. Além disso, todas as moléculas de amido também contêm níveis baixos de nitrogênio (<0,05%), sendo que parte dele pertencente aos lipídios e o resto pode ser protéico, possivelmente representados por restos de enzimas implicadas na sua síntese.

ESTRUTURA GRANULAR

TAMANHO, FORMA E SUPERFÍCIE

O amido encontra-se nas plantas sob a forma de grânulos. Nos cereais, os grânulos podem ser classificados como simples (trigo, milho, cevada, centeio e sorgo), onde cada plastídeo contém um grânulo, ou compostos (arroz e aveia), quando muitos grânulos estão dentro de cada amiloplasto^{8,23}.

Segundo Vandeputte & Delcour³, a forma (redondo, oval, poliédrico), tamanho de partícula (2-100 µm) e distribuição de tamanho de partícula (unimodal, bimodal, trimodal) dos grânulos são características da origem botânica. Quanto à distribuição de tamanho de partícula, a maioria dos cereais apresenta distribuição bimodal, sendo compostos por grânulos pequenos (diâmetro entre 1-10µm) e esféricos denominados de grânulos B, e grânulos grandes (10-35µm) e lenticulares denominados grânulos A^{2,7}.

Segundo Oates⁴, a superfície dos grânulos é plana, sendo possivelmente membranosa na natureza. Pouca informação é disponível sobre a composição molecular e organização da superfície dos grânulos. A base para os modelos atuais de superfície do grânulo foi proposta por Lineback²⁴, descrita como uma “bola de bilhar peluda”, onde a superfície do grânulo não é lisa, mas caracterizada por cadeias projetadas para fora. Mais tarde, Stark & Lynn²⁵

descreveram um grânulo cuja superfície é caracterizada pelos terminais das cadeias de amilose e ramificações da amilopectina, os quais seriam responsáveis pelo início da próxima camada de crescimento dos grânulos.

Quanto à permeabilidade, a superfície do grânulo é relativamente impermeável a moléculas grandes, como amilases, devido ao compacto empacotamento das cadeias de amilopectina. Segundo French²⁶, a porosidade dos grânulos de amido a água e pequenas moléculas solúveis ocorre devido a expansão reversível das regiões amorfas, que penetram por todo o grânulo, durante a hidratação, formando uma fase gel contínua. Porém, a entrada de enzimas hidrolizantes e outras moléculas grandes para o interior dos grânulos é restrita e somente possível através de poros ou canais. Estes poros na superfície de alguns grânulos são orifícios ou canais que penetram em uma direção radial ao longo do grânulo. Estudos de microscopia eletrônica de varredura sugerem orifícios com diâmetros entre 0,1-0,3 μm , enquanto canais interiores teriam entre 0,07-0,1 μm ^{2,7}. Porém, mais estudos devem ser realizados para comprovar a existência destes poros e canais, pois muitos pesquisadores duvidam de sua existência devido à falta de técnicas precisas para a visualização da superfície e interior dos grânulos.

ESTRUTURA INTERNA E CRISTALINIDADE

Em solução aquosa, o grânulo de amido é birrefringente quando visto microscopicamente sob luz polarizada, sendo que a refração pelas suas regiões cristalinas resulta no modelo típico de “Cruz de Maltez” o que caracteriza a orientação radial das macromoléculas. O centro ou “hilum” encontrado no centro da cruz é considerado o ponto original de crescimento do grânulo. Esta propriedade de birrefringência é devida ao alto grau de orientação molecular dentro do grânulo, não tendo qualquer relação com a forma cristalina em particular^{2,8}.

Segundo Oates⁴ uma característica estrutural que tem sido identificada através de hidrólise enzimática controlada dos grânulos são os chamados anéis de crescimento. Internamente, o material do grânulo está presente na forma de anéis concêntricos, conhecidos como anéis de crescimento (Figura 4). Estas estruturas são visíveis sob a luz do microscópio em grânulos grandes (batata e trigo), mas são raramente vistos em grânulos pequenos (cevada e arroz). A existência de anéis de crescimento sugere que o amido seja depositado num ritmo diário, e que o material recém sintetizado esteja depositado na superfície fazendo com que os grânulos aumentem em tamanho. Um modelo para este desenvolvimento sugere que a primeira camada de crescimento esteja no centro (hilum), que contém grande proporção de terminais reductores das moléculas de amido e é normalmente menos organizado que o resto do grânulo. Os terminais não reductores da amilose e amilopectina irradiam para a superfície do grânulo, permitindo a adição de mais resíduos de glicose para aumentar as cadeias de amilopectina.

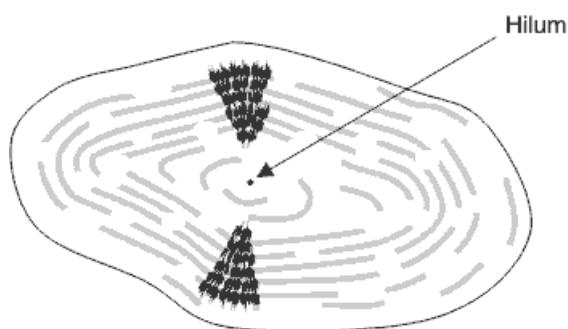


Figura 4. Modelo da estrutura interna do grânulo de amido com a visualização dos anéis de crescimento e centro ou hilum. Adaptado de Parker & Ring³⁵.

O interior do grânulo de amido é composto por anéis de crescimento, ou seja, regiões cristalinas e amorfas alternadas, motivo pelo qual é freqüentemente descrito como um polímero semicristalino ou parcialmente cristalino (Figura 4). O derretimento destes cristais e rompimento desta estrutura organizada é a base para a gelatinização⁷. A região cristalina é

constituída pelas duplas hélices das cadeias paralelas A e B da amilopectina, sendo mais compacta, enquanto que a região amorfa, menos ordenada, contém os pontos de ramificação das cadeias laterais da amilopectina e possivelmente alguma amilose (Figura 5)^{2,4,7}.

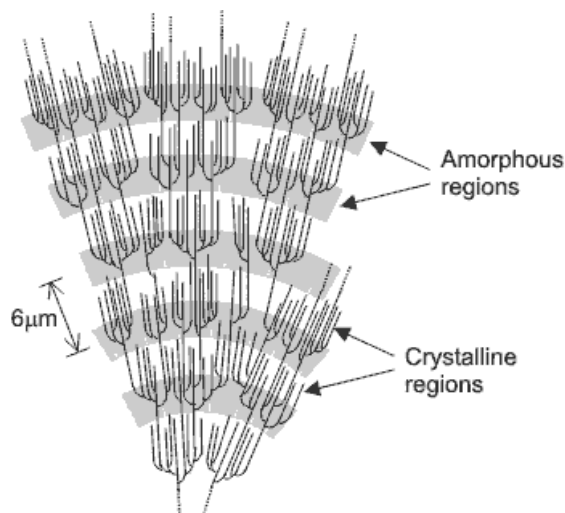


Figura 5. Estrutura da amilopectina formando as regiões amorfas e cristalinas no grânulo de amido. Adaptado de Parker & Ring³⁵.

Os grânulos de amido nativos contêm entre 15% e 45% de material cristalino com modelos de difração de raios-X que correspondem a duas poliformas (A ou B) ou uma forma intermediária (C). Esta cristalinidade ocorre na amilopectina através do entrelaçamento de cadeias com comprimento linear maior que 10 unidades de glicose formando duplas hélices e pode ocorrer entre ramificações adjacentes no mesmo grupo de ramificações da amilopectina ou entre cachos adjacentes em três dimensões^{1,2,25}. Os modelos propostos para as poliformas cristalinas são baseados em variações no conteúdo de água e configuração de empacotamento de duplas hélices, as quais se associam em pares unidos e estabilizados por pontes de hidrogênio e Van der Waals formando as estruturas cristalinas A e B²⁷.

A cristalinidade tipo A ocorre na maioria dos cereais (milho, arroz, trigo, aveia) e é descrita como uma unidade celular monocíclica altamente condensada e cristalina, onde 12 resíduos de glicose de duas cadeias no sentido anti-horário abrigam quatro moléculas de água

entre as hélices. Já a estrutura de padrão B (tubérculos, arroz com alto teor de amilose e amido retrogradado) é mais claramente definida, sendo composta por uma unidade básica de cadeias que são empacotadas em um arranjo hexagonal, onde a unidade celular tem duas duplas hélices no sentido anti-horário, alinhadas e arranjadas em paralelo. Esta estrutura contém 36 moléculas de água (27%) para cada 12 resíduos de glicose, sendo que metade desta água é fortemente ligada as duplas hélices e a outra é concentrada em um eixo em parafuso^{2,4}. Além de serem considerados mais ricos em amilose, estes tipos de amido apresentam formatos e tamanhos semelhantes, e são resistentes a hidrólise, tanto enzimática quanto ácida⁸.

Segundo Li²⁸, a maior suscetibilidade dos amidos com cristalinidade do tipo A à hidrólise ocorre devido a presença de poros na superfície que conduzem ao interior do grânulo. Estes poros são alargados pela ação das enzimas e facilitam a entrada e ação destas no interior do grânulo, sendo os responsáveis pela rapidez com que este tipo de amido é degradado. Além disso, pesquisas com cevada observaram que a taxa de hidrólise dos grânulos de amido ceroso são significativamente mais altas do que amido com teores normais ou altos de amilose. Outra possível explicação para esta maior suscetibilidade a erosões químicas e enzimáticas nos grânulos do tipo A quando comparados aos do tipo B, é a presença de cascas protetoras (chamados blocos cristalinos) incorporadas estruturalmente ao redor dos grânulos tipo B que são menos fortemente empacotados⁴.

Certas raízes e sementes (ervilha lisa e fava) apresentam uma estrutura intermediária entre os modelos A e B, a qual é denominada de padrão C e é subclassificado em C_a, C_b e C_c de acordo com a semelhança com os padrões A e B ou entre os dois tipos, respectivamente^{2,7}.

Existem vários fatores que afetam a estrutura cristalina do amido. A formação de cristais A é favorecida pelo menor comprimento médio de cadeia na amilopectina, alta temperatura de formação, alta concentração, presença de sal com alto número na série liotrófica (com exceção do SO₄⁻² que induz o padrão B) ou a presença de álcoois solúveis em

água, ácidos graxos com maior número de carbonos e ácidos orgânicos⁷. Além disso, a transição entre os padrões A e B passando pelo estado C já foi observada em vários estudos, sugerindo que a estrutura A é a mais estável, e pode seguir a seguinte ordem:

estrutura desorganizada (gelatinizada) → estrutura B → estrutura C → estrutura A

Esta ordem sugere que os cristais B apresentam menor temperatura de derretimento (77°C) quando comparado aos cristais A (90°C)². Além disso, o comprimento da cadeia (CL) da amilopectina parece ser um fator determinante para a cristalinidade, sendo que os amidos com padrão A apresentaram comprimentos de cadeia mais curtos ($CL \leq 19,7$) do que amido do tipo B ($CL \geq 21,6$), enquanto os amidos com CL entre 20,3 e 21,3 mostraram ambos tipos A, B e C. Por outro lado, cadeias muito longas parecem não afetar o polimorfismo²⁹.

PROPRIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

GELATINIZAÇÃO

Quando o amido entra em contato com a água fria, os grânulos incham ligeiramente (10 a 20%) devido à difusão e absorção de água nas regiões amorfas, mas este processo é reversível quando seco. Porém, quando os grânulos são aquecidos em água, eles incham irreversivelmente num fenômeno denominado gelatinização, onde ocorre perda da organização estrutural (perda da birrefringência), com fusão dos cristais. Sabe-se que a gelatinização inicia no hilum e se expande rapidamente para a periferia, ocorrendo inicialmente nas regiões amorfas devido à fragilidade das pontes de hidrogênio nestas áreas ao contrário das regiões cristalinas³⁰. À medida que os grânulos continuam se expandindo, ocorre a lixiviação da amilose da fase intergranular para a fase aquosa, resultando no aumento substancial das propriedades reológicas do sistema. O conjunto de mudanças que envolvem a

ruptura da estrutura granular, o inchamento, hidratação e a solubilização das moléculas de amido são definidos como fim da gelatinização³¹.

Segundo Singh³⁰, quando as moléculas de amido são aquecidas em excesso de água, a estrutura cristalina é rompida e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina, expondo seus grupos hidroxil, o que causa um aumento no inchamento e solubilidade do grânulo. Este poder de inchamento e solubilidade variam de acordo com a fonte do amido e nos fornecem evidências da interação entre as cadeias de amido dentro dos domínios amorfos e cristalinos. A extensão destas interações é influenciada pela proporção amilose:amilopectina e pelas características das moléculas de amilose e amilopectina, como distribuição e peso molecular, grau e comprimento de ramificações e conformação. Além disso, estas variações também podem ser devido a diferenças na estrutura morfológica dos grânulos.

A gelatinização geralmente ocorre numa ampla faixa de temperatura característica para cada fonte de amido^{7,30}. Muitos fatores afetam a temperatura de gelatinização e esta variação na temperatura, sendo a água o fator que exerce principal influência. Isto ocorre porque a água atua como agente plastificante nos cristais de amido, além de exercer efeito na condução de energia, sendo que sua presença diminuirá a temperatura de transição vítrea, conseqüentemente diminuindo a temperatura de derretimento (desorganização) dos cristais⁷.

Além disso, as propriedades de inchamento e gelatinização são controladas, em parte, pela estrutura molecular da amilopectina (comprimento de cadeia, extensão de ramificação, peso molecular), composição do amido (proporção amilose:amilopectina e conteúdo de fósforo) e arquitetura granular (proporção de regiões cristalinas e amorfas). Normalmente, altas temperaturas de transição têm sido associadas a altos graus de cristalinidade, que fornecem estabilidade estrutural e tornam os grânulos mais resistentes a gelatinização³⁰.

Atualmente, várias técnicas têm sido utilizadas para estudar o comportamento dos grânulos na gelatinização, como difração de raios X, dispersão de nêutrons de pequeno ângulo, microscopia com luz polarizada e, principalmente, calorimetria diferencial de varredura (DSC – Differential Scanning Calorimetry) que é amplamente usada para avaliar a gelatinização e retrogradação do amido. Além disso, alguns equipamentos são usados para avaliar a viscosidade das pastas de amido, como o viscoamilógrafo Brabender, visco-analisador rápido (RVA) e viscosímetros de rotação, os quais também nos dão uma idéia do comportamento do amido na gelatinização^{2,30}.

Análises em DSC têm sido extremamente úteis na quantificação da cristalinidade de amidos nativos e retrogradados, determinando a cinética e os fatores que influenciam a retrogradação. A variação de T_0 (temperatura inicial), variação de entalpia e temperatura de gelatinização em amidos de diferentes cultivares pode ser devido a diferenças na quantidade de cadeias longas na amilopectina, devido a maior temperatura de dissociação destas longas cadeias em relação às curtas duplas hélices³⁰. Além disso, estudos têm demonstrado que amidos de milho e arroz apresentam maior temperatura de transição, provavelmente devido a maior rigidez na estrutura granular e a presença de lipídios.

Devido a maior importância da amilopectina na cristalinidade do grânulo de amido, a presença da amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para o início da gelatinização, uma vez que mais energia é necessária para iniciar a fusão na ausência de regiões amorfas ricas em amilose. Esta correlação indica que amidos com maior conteúdo de amilose, por apresentarem mais regiões amorfas e menos regiões cristalinas, apresentam menores temperaturas de gelatinização.

Porém, estudos realizados com amido de arroz têm encontrado resultados contraditórios com relação à influência da amilose nas propriedades de gelatinização^{32,33}, sendo que as entalpias de gelatinização (expressas no amido ou com base na amilopectina)

não são relacionadas ou diminuem com o conteúdo de amilose. Porém, uma correlação negativa entre o conteúdo de amilose e as temperaturas de pico (T_p) e conclusão (T_c) da gelatinização são observadas no caso de amidos cerosos e não cerosos de várias fontes botânicas. Várias hipóteses foram sugeridas para explicar estes resultados conflitantes. Uma delas seria que a amilose pode existir sob a forma de complexos com lipídios (LAM) ou livre (FAM), sendo que a LAM é mais estável ao longo de toda a variação de temperatura de gelatinização do DSC, aumentando a T_p , enquanto a FAM amorfa diminuiria a T_p . Estes resultados sugerem que a FAM pode diminuir a temperatura de gelatinização de amidos normais e o aumento nas temperaturas de gelatinização no DSC com o conteúdo de amilose para amidos de milho ricos em amilose é possivelmente devido a cocristalização da amilose com a amilopectina³².

RETROGRADAÇÃO

Quando o amido gelatinizado é armazenado e resfriado, ele pode sofrer um fenômeno denominado de retrogradação. Com o passar do tempo, as moléculas do amido vão perdendo energia e os enlaces de hidrogênio tornam-se mais fortes, assim, as cadeias começam a reassociar-se num estado mais ordenado. Esta reassociação culmina com a formação de simples e duplas hélices resultando no enredamento ou formação de zonas de junção entre as moléculas, formando áreas cristalinas. Como a área cristalizada altera o índice de refração, o gel vai se tornando mais opaco à medida que a retrogradação se processa⁷. Além disso, a amilose que foi exudada dos grânulos inchados forma uma rede, por associação com as cadeias que rodeiam os grânulos gelatinizados.

Como consequência, a viscosidade da pasta aumenta (viscosidade de setback) convertendo-se num sistema viscoelástico turvo, ou em concentrações de amido suficientemente altas (> 6%p/p) num gel elástico opaco⁸, e às vezes pode ocorrer precipitação

de cristais insolúveis de amido, levando a separação de fases. Além disso, a forte interação das cadeias de amido entre si força a saída da água do sistema, sendo esta expulsão chamada de sinérese.

As características de retrogradação da amilose e amilopectina são cineticamente diferentes. A amilose retrograda mais rápido, tendo forte tendência a reassociar-se através da formação de pontes de hidrogênio com outras moléculas de amilose adjacentes formando estruturas cristalinas de duplas hélices quando a solução esfria e se mantém por longo período de tempo. Além disso, a amilose apresenta endoterma de fusão de 140 a 180°C e a presença de ácidos graxos livres ou lipídios favorece a formação de complexos de inclusão. Por outro lado, a amilopectina retrograda numa taxa muito menor durante um longo período de tempo, sendo que sua endoterma de fusão é menor, aproximadamente 45 a 60°C^{31,34}.

A retrogradação é um fenômeno complexo e depende de muitos fatores como temperatura de armazenamento e tempo, pH, fonte de amido, presença de componentes não amido (lipídios, eletrólitos e açúcares) e condições de processamento. Sabe-se, por exemplo, que a repetição de ciclos congelamento-degelo aceleram drasticamente a retrogradação e sinérese. Porém, a principal influência da retrogradação é na textura, aceitabilidade e digestibilidade dos alimentos que contém amido^{2,7,31}.

Além disso, alguns estudos têm observado que, como ocorre na gelatinização, algumas populações de cadeias de amilopectina podem favorecer (DP 12-22) ou inibir (DP 6-9; DP>25) a retrogradação da amilopectina devido ao favorecimento ou não da formação de duplas hélices durante a retrogradação³. Já a exata influência da amilose na retrogradação do amido permanece obscura. Alguns estudos sugerem que a fração amilose tenha um efeito sinérgico na retrogradação da amilopectina, atuando como um núcleo de cocristalização no caso de baixos conteúdos de amilopectina¹².

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários estudos realizados nos últimos anos têm demonstrado que a fonte de amido pode influenciar determinantemente diversos processos tecnológicos da indústria alimentícia, assim como, processos metabólicos vitais da nutrição humana. Estes eventos estão intimamente relacionados a muitas características estruturais do amido, como conteúdo de amilose, distribuição de comprimento das cadeias de amilopectina e cristalinidade no grânulo, sendo também associados a algumas etapas dos processos de gelatinização e retrogradação, como inchamento do grânulo, lixiviação de amilose e/ou amilopectina, perda da estrutura radial (birrefringência), supra-molecular (cristalinidade) e molecular; e recristalização. Estes pontos, abordados na presente revisão, demonstram que, bem mais do que um simples componente energético, o amido deve ser estudado com base nas suas diferenciações químicas, a fim de dirigir e otimizar sua aplicação tecnológica e nutricional.

REFERÊNCIAS

1. Tester RF, Karkalas J, Qi X. Starch – composition, fine structure and architecture. *J Cereal Sci.* 2004; 39(1): 151-165.
2. Eliasson AC, editor. *Starch in food – Structure, function and applications.* New York: Boca Raton, CRC Press; 2004.
3. Vandeputte GE & Delcour JA. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. *Carbohydr Polym.* 2004; 58(1): 245-266.
4. Oates CG. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends Food Sci Tech.* 1997; 8(1): 375-382.
5. Curá JA, Jansson P, Krisman CR. Amylose is not strictly linear. *Starch/Stärke.* 1995; 47(6): 207-209.
6. Ball S. From glicogen to amylopectin: a model for the biogenesis of the plant starch granule. In *Cell.* 1996; 86(1): 349-352 (apud Oates, 1997).

7. Eliasson AC, editor. Carbohydrates in food. New York: Marcel Dekker, Inc., 1996.
8. Lajolo FM, Menezes EW, editores. Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.
9. Hizukuri S. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. Carbohyd Res. 1985; 141(1): 295-305.
10. Hizukuri S. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin and its significance. Carbohyd Res. 1986; 147(1): 342-347.
11. Lansky S, Kooi M & Schoch TJ. Properties of the fractions and linear subfractions from various starches. J Am Chem Soc. 1949; 71(1): 4066-4075 (apud Eliasson, 2004).
12. Vandeputte GE, Vermeulen R, Geeroms J, Delcour JA. Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. J Cereal Sci. 2003; 38(1): 61-68.
13. Asaoka M, Okuno K, Sugimoto Y, Yano M, Omura T, Fuwa H. Characterization of endosperm starch from high-amylose mutants of rice (*Oryza sativa* L.). Starch/Stärke. 1986; 38(1): 114-121.
14. Buléon A, Colonna P, Planchot V, Ball S. Starch granules: structure and biosynthesis. Int J Biol Macromol. 1998; 23(1): 85-112.
15. Wolff IA, Hofreister BT, Watson PR, Deatherage WL, MacMaster MM. The structure of a new starch of high amylose content. J. Am. Chem. Soc. 1955; 77(1): 1654-1659 (apud Eliasson, 1996).
16. Colonna P & Mercier C. Macromolecules structure of wrinkled- and smooth- pea starch components. Carbohyd Res. 1984; 126(1): 233-247.
17. Bertoft E. Studies on the structure of pea starches. Part 4. Intermediate material of wrinkled pea starch. Starch/Stärke. 1993; 45(1): 420-425.
18. Hosney RC, editor. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España), 1991.
19. Morrison WR. Lipids in cereal starches. In: Hill RD, Munck L, editores. New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates. Elsevier, Amsterdam, 1985.

20. Morrison WR. Lipids in cereal starches: a review. *J Cereal Sci.* 1988; 8(1): 1-15.
21. Morrison WR. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. *Cereal Food World.* 1995; 40(1): 437-446.
22. Kasemsuwan T & Jane JL. Quantitative method for the survey of starch phosphate derivatives and starch phospholipids by P-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Cereal Chem.* 1996; 73(1): 702-707.
23. Lindeboom N, Chang PR, Tyler RT. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Stärke.* 2004; 56(1): 89-99.
24. Lineback DR. The starch granule: organization and properties. *Bakers Dig.* 1984; 58(1): 16-21 (apud Oates, 1997).
25. Stark JR & Lynn A. Biochemistry of plant polysaccharides: starch granules large and small. *Biochem. Soc. Trans.* 1992; 20(1): 7-12.
26. French D, Whistler RL, BeMiller JN & Paschall EF, editors. *Starch: Chemistry and Technology.* Academic Press: London; 1984 (apud Eliasson, 2004).
27. Imberty A, Buléon A, Tran V, Pérez S. Recent advances in knowledge of starch structure. *Starch/Stärke.* 1991; 43(10): 375-384.
28. Li JH, Vasanthan T, Hoover R, Rossnagel B. Starch from hull-less barley: V. In-vitro susceptibility of waxy, normal, and high-amylose starches towards hydrolysis by alpha-amylases and amyloglucosidases. *Food Chem.* 2004; 84(1): 621-632.
29. Hizukuri S, Kaneko T, Takeda Y. Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1983; 760(1): 188-191.
30. Singh N, Singh J, Kaur L, Sodhi N.S, Gill BS. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.* 2003; 81(1): 219-231.
31. Tharanathan RN. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Crit Rev Biotechnol.* 2002; 22(1): 65-84.

32. Vandeputte GE, Vermeylen R, Geeroms J, Delcour JA. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behavior of granular starch. *J Cereal Sci.* 2003; 38(1): 43-52.
33. Vandeputte GE, Derycke V, Geeroms J, Delcour JA. Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. *J Cereal Sci.* 2003; 38(1): 53-59.
34. Tako M & Hizukuri S. Retrogradation mechanism of rice starch. *Cereal Chem.* 2000; 77(4): 473-477.
35. Parker R & Ring SG. Aspects of the physical chemistry of starch. *J Cereal Sci.* 2001; 34(1): 1-17.
36. Wu HCH & Sarko A. The double-helical molecular structure of crystalline A-amylose. *Carbohydr Res.* 1978; 61(1): 27-40.
37. Wang LZ & White PJ. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. *Cereal Chem.* 1994; 71(1): 263-271.

2.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – PARTE 2

2.2.1. Efeito da variação na proporção amilose:amilopectina do arroz sobre a resposta biológica

O arroz é composto basicamente de carboidratos os quais estão presentes, na maior parte, sob a forma de amido (90%), no endosperma (Coffman e Juliano, 1987). Este constituinte pode variar em quantidade no grão, devido a influências genéticas e ambientais. Além disso, a taxa e extensão da digestão do amido podem ser influenciadas por diferentes fatores, destacando-se a variação na proporção amilose:amilopectina, o processamento dos grãos (principalmente no que diz respeito a parboilização), as propriedades físico-químicas (particularmente as características de gelatinização), o tamanho de partícula e a presença de complexos amilose-lipídio (Hu et al., 2004).

As principais diferenças existentes na composição do amido e que influenciam profundamente as propriedades físico-químicas e metabólicas do arroz são causadas pela variação na proporção de seus dois polímeros formadores, amilose e amilopectina (Zhou et al., 2002), o que permite classificá-los quanto ao teor de amilose, em ceroso (1-2% amilose), muito baixo teor (2-12%), baixo teor (12-20%), intermediário teor (20-25%) e alto teor (25-33%) (Coffman & Juliano, 1987; Juliano, 1993).

Considerando os efeitos metabólicos, Frei et al. (2003) discutem que alimentos amiláceos com elevados níveis de amilose são associados a menor resposta glicêmica e esvaziamento mais lento do trato gastrointestinal do que aqueles com baixos níveis deste polímero. Estas condições são relevantes, especialmente para a formulação de dietas para diabéticos, pois a digestão e absorção lentas de carboidratos ajudam a manter regulares os níveis de glicose sanguínea (FAO/WHO, 1997) e a diminuir a resposta insulinêmica, provavelmente pelo aumento do tempo de trânsito intestinal (Lobo, 2001). Esta variação, aliada ao método de preparo, pode levar a diferentes respostas glicêmica e insulinêmica, bem como, de perfil hormonal (Kennedy & Burlingame, 2003).

Porém, diversos estudos realizados com cultivares de arroz de alto teor de amilose têm apresentado valores conflitantes, com menores, maiores ou semelhantes taxas de digestão de amido e respostas glicêmicas e insulinêmicas, quando comparados a cultivares com baixo teor de amilose. Neste contexto, Panlasigui et al. (1991) concluíram que o conteúdo de amilose,

por si só, não é um bom preditor da taxa de digestão e respostas a glicose e insulina para o arroz, devido as suas diferenças nas propriedades físico-químicas (gelatinização) do amido para cultivares com semelhante teor de amilose, o que influencia sua respectiva taxa de digestão e a quantidade de glicose sanguínea.

Além disso, segundo Jenkins (1988), esta variabilidade nos resultados de resposta glicêmica para o arroz e outros alimentos amiláceos podem ser, em parte, decorrente da falta de padronização das metodologias empregadas, ressaltando que nem todos os autores adotam a mesma metodologia para obtenção desta medida. Um exemplo disso é a escassez de informações sobre o tipo de tratamento ao qual o alimento foi submetido, que deve ser amplamente descrito (tipo e tempo de cocção, beneficiamento, trituração, entre outros) para que os diversos fatores presentes nos alimentos e que interferem no aproveitamento dos carboidratos possam ser considerados.

2.2.2. Efeito do processamento do arroz sobre a resposta biológica

Embora não existam dados estatísticos oficiais, estima-se que, por ano, cerca de 170 milhões de toneladas de arroz em casca sejam beneficiados industrialmente por parboilização em todo o mundo, ou seja, em média, um quinto de toda produção arrozeira mundial (Amato & Elias, 2005). Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Arroz Parboilizado (ABIAP), no Brasil, 25% do total de arroz produzido é parboilizado, e o seu consumo encontra-se em expansão, representando 20% (1,5 milhões de toneladas) da demanda de arroz beneficiado, que é de 7,2 milhões de toneladas (Planeta Arroz, 2005; ABIAP, 2007).

O processo parboilização começou a ser empregado a dezenas de anos em povoados da Ásia e África, sendo a sua descoberta provavelmente ao acaso, quando grãos foram acidentalmente encharcados com água e, na tentativa de reaproveitá-los, secos ao sol. O procedimento passou a ser repetido de forma intencional, depois de observado que facilitava o descascamento no pilão. Porém, no início do século XX, o químico inglês Eric Huzenlaub, ao percorrer tribos da Índia e África, cuja alimentação básica era o arroz, descobriu que as tribos que parboilizavam o arroz não apresentavam incidência da doença beribéri causada por insuficiência da vitamina B₁ (Bhattacharya, 1985). Com isso, foram descobertas algumas vantagens da parboilização do arroz, como maior teor de tiamina (vitamina B₁), redução na quebra durante a moagem e mudanças na qualidade de cozimento, as quais levaram Huzenlaub, juntamente com o americano Gordon L. Harwell, a fundar na década de 1940, nos

Estados Unidos, a *Converted Rice*, primeira empresa de arroz a utilizar tecnologia na parboilização. No Brasil, esta tecnologia foi introduzida na década de 1950, sendo o arroz parboilizado então conhecido como arroz Malekizado, amarelão, amarelo e macerado, o qual possuía características sensoriais bastante marcantes e que restringiam seu mercado consumidor. Atualmente, o Brasil detém a tecnologia de parboilização mais avançada do mundo (Amato et al., 2002), o que proporcionou aumento significativo na qualidade tecnológica e mercadológica do arroz parboilizado, conquistando cada vez mais os diferentes nichos do mercado consumidor.

A parboilização baseia-se no tratamento hidrotérmico no qual o arroz em casca é submetido antes do descascamento, polimento e seleção. Este processo envolve o encharcamento dos grãos e o aquecimento deste arroz úmido (o suficiente para gelatinizar o amido), seguido pelo resfriamento e lenta secagem (Coffman e Juliano, 1987; Marshall e Wadsworth, 1993; Dexter, 1998). O encharcamento tem a finalidade de aplicar certo grau de intumescimento, através da absorção de água. Normalmente deixa-se o arroz imerso por cerca de seis a nove horas, a temperaturas em torno de 65°C (estes parâmetros podem variar em função do cultivar e grau de maturação). Após esta etapa, espera-se que o grão tenha de 30 a 32% de umidade, o que facilita a etapa de gelatinização. Na maioria das variedades este teor se situa na faixa de 30 a 36% de umidade (Silva et al., 2003).

Na etapa seguinte, os grãos úmidos são aquecidos até a temperatura de gelatinização do amido (cerca de 70°C), quando irá ocorrer a reestruturação interna do grão. O amido é submetido a gelatinização seguida de retrogradação, e as proteínas, que constituem a matriz protéica onde os grânulos de amido estão contidos, são parcialmente desnaturadas. Com isso, há expulsão do ar ocluso nos interstícios, simultaneamente com um rearranjo celular que resulta na compactação e agregação de massa, tornando os grãos mais resistentes às ações de fricção e abrasão, que ocorrem nas operações de brunimento e polimento, quando o farelo é retirado (Amato & Elias, 2005). Portanto, é esta a operação que conduz ao grande diferencial econômico do arroz parboilizado, pois é durante esta fase que ocorre a "soldagem" dos grãos, a qual é responsável pela redução da ocorrência de quebrados durante o processamento (Nitzke, 2004; ABIAP, 2007). Após a gelatinização, o arroz encontra-se com umidade ao redor de 30%, devendo, portanto, ser novamente levado ao seu estado inicial, por volta de 13% de umidade. Para esta etapa, pode-se utilizar o mesmo tipo de secador utilizado para a secagem primária (Singh, 1999; Nitzke, 2004; ABIAP, 2007). Este processo faz com que o endosperma fique mais resistente, sendo necessário aplicar maior pressão durante o polimento (Juliano & FAO, 1993; Sujatha et al., 2004).

O objetivo principal do processo de parboilização visa aumentar o rendimento de beneficiamento, reduzir a adesividade do arroz, esterilizar o grão e aumentar a vida de prateleira (Eggum et al., 1993; Nitzke, 2004). Porém, este processo provoca muitas outras modificações físicas, químicas e sensoriais nos grãos de arroz, entre as quais destaca-se: a redistribuição e concentração de substâncias solúveis em água (vitaminas e sais minerais); a alteração da ordenada estrutura poliédrica, característica do amido de arroz, em uma massa homogênea e compacta de amido gelatinizado; a desnaturação de enzimas; o aumento na transparência e brilho do grão; e a menor adesividade e maior dureza dos grãos cozidos, que não empapam e são resistentes às desintegrações (Bhattacharya, 1985; Juliano & FAO, 1993). Além disso, existem indícios de que algumas das mudanças que afetam a forma física e o grau de gelatinização do amido deste cereal poderiam exercer um efeito marcante na sua digestibilidade, de tal forma que a gerar produtos com impacto glicêmico completamente diferente ao obtido com o consumo de arroz branco (Casiraghi et al., 1993).

Existem cada vez mais evidências de que a grande variação nas respostas glicêmicas obtidas com o consumo de arroz são, em parte, devidas a variações nas propriedades físico-químicas dos cultivares, mas também podem estar muito relacionadas ao tipo de processamento ao qual os grãos são submetidos (Larsen et al., 2000). De uma maneira geral, acredita-se que a parboilização reduz a resposta glicêmica do arroz. Contudo, poucos estudos têm investigado este tópico e os resultados existentes são conflitantes.

Wolever et al. (1986) foram os primeiros a avaliar o efeito da parboilização sobre a resposta glicêmica do arroz ingerido, estudando duas amostras de arroz comerciais, encontraram uma menor resposta glicêmica no arroz parboilizado quando comparado ao não parboilizado (67 *versus* 83). Mais tarde, Casiraghi et al. (1993) e Urooj & Puttraj (1999), avaliando o efeito do processamento sobre a mesma variedade de arroz e sobre refeições mistas, respectivamente, observaram que a parboilização diminuiu a resposta glicêmica, principalmente devido a maior firmeza do arroz parboilizado, o que reduz sua suscetibilidade a hidrólise enzimática.

Estudo realizado por Tetens e colaboradores (1997) avaliando o efeito da parboilização sobre a digestibilidade do amido de arroz *in vitro*, concluiu que a parboilização reduz significativamente a taxa de digestão do amido, dependendo da extensão e severidade do processo. Outros estudos deste grupo concluíram que o processo de parboilização sob pressão aumenta a formação de complexos amilose-lipídios, os quais estão relacionados a menor digestibilidade do amido em ratos, quando comparado com um processo de parboilização suave. De forma semelhante, Larsen et al. (2000), ao investigar o efeito da

parboilização *per se* e o efeito da severidade do processo nas respostas glicêmicas e insulinêmicas em indivíduos com diabetes tipo 2, concluiu que o efeito da parboilização na resposta glicêmica depende da severidade do processo de parboilização.

Por outro lado, outros estudos realizados com humanos não mostraram diferenças na resposta glicêmica em resposta ao consumo de arroz branco e parboilizado (Brand Miller et al., 1992; Larsen et al., 1996; Korach-André et al., 2004). Brand Miller et al (1992) e Korach-André et al (2004) ao avaliarem o efeito do processamento sobre a mesma variedade de arroz em indivíduos normais, não observaram diferença significativa na resposta glicêmica, embora o arroz parboilizado tenha apresentado resultados levemente menores. Já Larsen et al (1996), avaliando o efeito da parboilização leve sobre a resposta glicêmica de indivíduos com diabetes não-insulino-dependente, também não observou diferença nas respostas glicêmicas. Portanto, estes pesquisadores ressaltam que os resultados podem ser atribuídos tanto as diferenças nas variedades de arroz utilizadas (teores de amilose e temperaturas de gelatinização) como também, no processo de parboilização *per se*.

2.2.3. Consumo de arroz *versus* macarrão

De acordo com as recomendações nutricionais, alimentos energéticos, como pães, cereais (como arroz e trigo), raízes e tubérculos, encontram-se na base da pirâmide alimentar, constituindo até 60% das calorias ingeridas por dia. Nestes alimentos, o amido é a fonte mais importante de carboidratos, representando 80-90% de todos os polissacarídeos da dieta, sendo potencialmente digerível pelas enzimas do trato gastrintestinal e absorvido na forma de glicose no intestino delgado (Mahan, 1998).

O arroz ainda é o cereal mais utilizado na dieta dos brasileiros (25Kg/habitante/ano), fornecendo aproximadamente 12% das proteínas e 18% das calorias da dieta básica nacional. Porém, diversos estudos têm demonstrado uma redução de aproximadamente 13,5% no consumo deste cereal, desde a década de 80 até os dias atuais. Esta redução é devida a mudança no estilo de vida da sociedade moderna, onde cada vez mais mulheres ingressam no mercado de trabalho, o que, associado a menor oferta de mão-de-obra doméstica, ou mesmo impossibilidade de acomodar tal despesa no orçamento doméstico, leva a dona de casa, que necessita ganhar tempo na cozinha, a optar por pratos de preparo rápido, em detrimento do tradicional arroz com feijão (Arroz em Foco, 2005; Embrapa Arroz e Feijão, 2005).

Já o macarrão, é o principal alimento amiláceo que compete com o arroz na mesa da população brasileira, com consumo crescente que hoje corresponde a 5,6 Kg por pessoa/ano. O Brasil é o terceiro maior consumidor de massas do mundo e produz mais de 1,3 milhões de toneladas por ano. Embora o macarrão seja considerado um alimento nutritivo, saboroso, de fácil preparo e amplamente consumido, variações no seu preço estão intimamente relacionado ao preço mundial do trigo (o principal ingrediente na fabricação da farinha de trigo, base do macarrão) do qual o País tem grande dependência do mercado externo.

Segundo dados da Abima (2007), o macarrão está inserido no grupo dos carboidratos complexos, apresentando um índice glicêmico entre baixo e moderado, sendo sua ingestão recomendada na alimentação escolar e hospitalar. De uma maneira geral, a maioria dos trabalhos avaliando a resposta glicêmica do macarrão em relação ao arroz demonstram aumento de 20% na glicemia em resposta ao consumo de arroz (Jenkins et al. 1981 e 1988; Wolever, 1990). Porém, Coulston et al (1984) ao avaliar o efeito da fonte de carboidratos sobre a glicose sanguínea em pacientes diabéticos, não observou diferença significativa em resposta ao consumo de arroz ou macarrão.

Estudo realizado por Wolever et al (2003) juntamente com outros seis grupos de pesquisa, com o objetivo de determinar as fontes de variação nos valores de resposta glicêmica em diversos alimentos, observaram que as mesmas amostras de macarrão e arroz apresentam grande variação nos resultados de índice glicêmico: 69,9 a 36,4 e 87,0 a 54,8, respectivamente. De acordo com este estudo, estas variações estão relacionadas com erros ao acaso e variações entre os indivíduos testados. Porém, existem trabalhos que relacionam a variação nas respostas metabólicas do macarrão aos diferentes tipos de formatos, conteúdos de proteína e formas de processamento pelos quais estes alimentos foram submetidos (Björck, et al. 1994; Carreira, et al. 2004).

Deve-se ainda destacar que o consumo de arroz ou macarrão não está relacionado apenas a resposta glicêmica, mas ao conjunto de efeitos metabólicos ligados aos demais nutrientes também presentes nestes alimentos, como lipídios, fibras, minerais e proteínas. Com base neste fato, o macarrão é um alimento deficitário em termos de valor nutricional, uma vez que se destaca pela sua riqueza em carboidratos (cerca de 75%) em detrimento a quantidade e qualidade de proteínas (cerca de 12,35% de proteína, sendo 0,74mg% de lisina e 0,35mg% de metionina) (Nicoletti, 2007). Além disso, o macarrão é um alimento preferencialmente servido sem muitos acompanhamentos, o que restringe o valor nutricional da refeição.

Já o arroz, é um alimento normalmente servido acompanhado pelo feijão, um prato de preferência nacional, o que favorece o maior aporte de nutrientes na dieta, principalmente devido ao fato de a mistura de cereais e leguminosas, como no caso do arroz (6-15% de proteína) e feijão (20,1-27,9% de proteína), fornecerem ao organismo um bom aporte de aminoácidos essenciais através da complementação das proteínas (Marchini et al. 1994; Embrapa Arroz e Feijão, 2007; Nutrinet, 2007). Embora o arroz seja deficiente em lisina (3,4-4,2g/16,8g de N), é boa fonte de triptofano (1,3-1,8g/16,8g de N) e metionina (2,3-3,0g/16,8g de N). Já o feijão, apresenta pouca proporção de triptofano (0,56-0,94g%) e metionina (0,80-1,39g%) e grande quantidade de lisina (7,22-9,22g%), sendo que a proporção de 3 porções de arroz para 1 porção de feijão garante uma síntese protéica adequada para a manutenção de um organismo saudável (Sgarbieri & Whitaker, 1982; Bhattacharya, 1985; Cyberdiet, 2007).

Portanto, embora o macarrão apresente uma menor resposta glicêmica quando comparado com o arroz, sua deficiência em outros nutrientes essenciais, assim como a qualidade de suas proteínas, poderia acarretar em respostas metabólicas indesejáveis ao organismo humano. Com isso, embora não existam trabalhos científicos nesta área, são fortes os indícios de que o consumo crescente de macarrão, em detrimento ao tradicional arroz com feijão, seria uma das principais causas do aumento da incidência de desnutrição protéica e obesidade adulta e infantil, principalmente nas populações carentes.

3. TRABALHOS DESENVOLVIDOS

3.1. ARTIGO 2 – VERSÃO ORIGINAL

Submetido à Food Research International
(Configuração conforme normas da revista – Anexo 2)

EFFECT OF AMYLOSE CONTENT ON PERFORMANCE, GLYCEMIC AND LIPIDIC METABOLISM IN RATS

Cristiane C. Denardin^{*†}, Nardeli Boufleur[†], Patrícia Reckziegel[†], Leila P. da Silva[‡], Melissa
Walter[§]

Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL), Departamento de Zootecnia e Departamento de
Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário. Bairro
Camobi, Santa Maria, RS, CEP 97105-900, Brazil.

ABSTRACT

This research aimed at evaluating the effect of diets with high, intermediate and low amylose content on performance, glycemic and lipidic metabolism in rats. Male Wistar rats were fed diets with grains of cooked rice of the cultivars IRGA 417, IRGA 416 and Mochi with high, intermediate and low amylose content, respectively. Wet and dry fecal production, serum HDL cholesterol and epididymal fat pads weight were not affected by amylose content. The animals in the treatments with high amylose content (IRGA 417) presented lower feed intake, body weight gain and apparent digestibility, higher fecal water content and nitrogen excretion, reduced fecal pH, lower postprandial blood glucose response, serum total cholesterol and triglycerides levels and pancreas weight, and higher fasting serum glucose concentration and

* To whom correspondence should be addressed. Tel: +55 55 3220 8547. Fax: +55 55 3220 8323. E-mail: cristiane_denardin@yahoo.com.br.

† Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL). nardelibou@hotmail.com and patriciar@mail.ufsm.br.

‡ Departamento de Zootecnia. leilasliva@yahoo.com.br.

§ Departamento de Fitotecnia. melmelissaw@yahoo.com.br.

liver weight. Amylose:amylopectin ratio significantly affects rice starch digestion in the gastrointestinal tract, affecting some biologically relevant parameters.

KEYWORDS: rice grains; hyperglycemia; metabolic responses; rats

INTRODUCTION

Rice (*Oryza sativa*) is consumed by 2/3 of world population and, at least for half of them (including many countries in Latin America, Asia and the Pacific islands) it is the main source of energy in the diet (Hu et al., 2004). This popularity is especially due to rice being a low cost food, of easy and quick preparation, and versatile matching different dishes.

This cereal is mainly composed of carbohydrates, which are present mostly as starch (90%) in the endosperm (Coffman & Juliano, 1987), with varying amounts in the grain due to genetic and environmental factors. Besides, the rate and extension of starch digestion can be influenced by different factors, including the variation in the amylose:amylopectin ratio, grain processing (especially parboiling), physicochemical properties (particularly gelatinization characteristics), particle size and the presence of lipid-amylose complexes (Hu et al., 2004).

The main differences in starch composition that influence physicochemical and metabolic properties of rice are caused by the variation in the ratio of its two macromolecules, amylose and amylopectin. Amylose is essentially a linear molecule in which D-glucose units are linked by α -1.4 glucosidic bonds, while amylopectin, a branched polymer, contains both α -1.4 and α -1.6 bonds. Researches by Frei et al., (2003) report great variations in the amylose:amylopectin ratio in rice grains of different varieties that allow their classification as waxy (1-2% amylose), very low amylose content (2-12%), low amylose content (12-20%), intermediate amylose content (20-25%) and high amylose content (25-33%) (Coffman & Juliano, 1987).

Considering the metabolic effects, Frei et al. (2003) report that starchy foods with high amylose levels are associated with lower blood glucose levels and slower emptying of the human gastrointestinal tract compared to those with low levels of this macromolecule. These conditions are relevant, especially in the formulation of diets for diabetics, because the slower digestion and absorption of carbohydrates help to maintain regular levels of glucose in the blood and to reduce insulin response, probably due to increased time of intestinal transit (Behall et al., 1988). This variation, associated with food processing, can result in different glycemic and insulinemic responses, and hormonal profiles (Goddard et al., 1984).

Therefore, considering these aspects, the fact that the preferences of the Brazilian population for rice's eating quality vary according to the region, and that this is related to amylose:amylopectin ratio in the grains of different cultivars, this research aimed at evaluating the effect of diets with Brazilian cultivated rice grains with high, intermediate and low amylose content on performance, glycemic and lipidic metabolism in rats.

MATERIALS AND METHODS

Diets and treatments. Three diets were formulated according to the recommendation of the American Institute of Nutrition (AIN) (Reeves et al., 1993), by whole substitution of corn starch, and by partial substitution of casein and soybean oil for grains of cooked rice of the cultivars IRGA 417, IRGA 416 and Mochi, obtained from the Rice Experimental Station of IRGA (Cachoeirinha/RS), in the year of 2004. The mentioned diets were isocaloric, isoproteic and isoenergetic (Table 1). The rice grains were traditionally cooked, hot-air dried at 50°C and immediately to make use of produce the diets. These three diets formed the treatments; the first, IRGA 417: diets formulated with cooked rice grains of the cultivar IRGA 417, with 22.95% of amylose; the second, IRGA 416: diet formulated with cooked rice grains of the

cultivar IRGA 416, with 17.42% of amylose; the third, Mochi: diet formulated with cooked rice grains of the cultivar Mochi, with 2.92% of amylose.

Animals and experiment. The Ethics and Care Committee for Laboratory Animals of Federal University of Santa Maria (UFSM) agreed with the study protocol (23081.004118/2007-34). Twenty-four male Wistar (F1) rats (*Rattus norvegicus* albino) (59.2 ± 5.2 g; aged: 21 days) were obtained from “Biotério Central” of UFSM and were randomly distributed among the treatments (8 animals/treatment), being individually housed in metabolic cages, with free access to feed and water. The period of adaptation to the experimental diets was 5 days. After that, the experimental period (25 days) began, when the determination of feed intake and the collection of the feces were made daily. The body weight of the animals was obtained every three days. These data and samples were collected to determine feed intake, body weight gain, apparent digestibility, wet and dry fecal production, fecal water content, fecal pH and fecal nitrogen excretion.

Starting on the fifth experimental day, the animals were randomly selected, every other day, in groups of 8 (one animal/treatment) for the analysis of the postprandial blood glucose response and these animals were then excluded from the next selections. After a 12hr-overnight fast, the animals were fed 2g of one of the test diets, which was totally consumed in a period of 20min. Blood samples of tail vein were taken at fasting (before the consumption of the meal) and 15, 30, 45, 60, 90 and 150 minutes after the meal to measure serum glucose levels, which were determined using Accu-Chek Active[®] (Roche) monitoring kit. After the analysis of the postprandial blood glucose response of all the animals, there was a period of two days for the animals to recover from the stress caused by fasting and handling, and then the experimental period was restarted on the 11th day of the experiment.

On the last experimental day, after a 12hr-overnight fast, the animals were weighed,

anesthetized and killed by cardiac puncture, and blood was collected for the quantification of glucose, total cholesterol, HDL cholesterol and triglycerides. In this occasion, the liver, pancreas and epididymal fat pads were immediately removed and weighed for the determination of their weight.

During the adaptation and experimental period, temperature was maintained at $21\pm 1^{\circ}\text{C}$, and lighting was controlled by alternating periods of 12hrs of light and dark.

Analytical methods. The amylose value was determined according to the iodimetric technique (Blue Value), described by Gilbert and Spragg (1964). The determinations of fecal water content ($105^{\circ}\text{C}/12\text{hr}$) and fecal nitrogen content (Micro-Kjeldahl) were carried out according to methods mentioned in AOAC (1995). Fecal pH was obtained from a solution of 1g of partly dried feces ($60^{\circ}\text{C}/48\text{hr}$) in 10mL of distilled water. Apparent digestibility (AD) was calculated as the proportion of food ingested that was not later recovered in the feces. Serum glucose, total cholesterol, HDL cholesterol and triglycerides in the blood were determined with the kits Glucox 500, Enzymatic Cholesterol 250, HDL Cholesterol and Enzymatic Triglycerides Liquid, respectively, from Doles[®] (Goiânia, Goiás, Brazil). The weights of the liver, pancreas and epididymal fat pads were calculated as g/100g of animal weight.

Experimental design and statistical analysis. The experiment was carried out in a completely random design. The results obtained were submitted to analysis of variance, with the means compared by Duncan's test at 10% of significance. Statistical analyses were performed using SPSS for Windows 8.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Feed intake, body weight gain and apparent digestibility. Feed intake and body weight gain of the animals were significantly higher in the treatment Mochi (low amylose content) than in the treatments with intermediate (IRGA 416) and high (IRGA 417) amylose content (Table 2).

The majority of researches carried out with rats and humans report no effect of amylose content on consumption and body weight gain (Kabir et al., 1998; Goddard et al., 1984). However, Zhou and Kaplan (1997), evaluating the digestibility of two starch sources, potato with 70-75% amylopectin and maize with 70% amylose, in an experiment with rats during four weeks, also observed significant increase in feed intake with the high amylopectin diet, although no effect was seen on body weight gain. Usually rice grains with low amylose content are more palatable (Ramirez, 1991), which can explain the higher feed intake that, associated with the higher digestibility of amylopectin, influenced the body weight gain of the animals. This hypothesis is supported by the research carried out by Sclafani and colleagues (1987) with rats, which demonstrated that the animals have receptors that discriminate between the tastes of carbohydrates like starch, what leads to the preference of consuming branched-chain starch (amylopectin) rather than unbranched starch (amylose).

Besides, it has been found out in some researches that food intake is affected by many metabolic and physiological signals, and its regulation is partially dependent on carbohydrate metabolism, as originally proposed by the glucostatic theory proposed by Mayer (1953). Due to the fact that glucose comprises the main energy source for many vital organs, especially the brain, this theory proposes that when glucose concentration is insufficient, the organism responds by stimulating the feeling of hunger and the ingestion of food. Moreover, there are hypotheses that food slowly digested may result in a slow and prolonged glucose supply after

a meal, resulting in prolonged satiety. In contrast, food rapidly digested, by producing a fast increase and then a decline in plasma glucose and insulin levels would stimulate hunger and food intake, according to the glucostatic theory (Stewart et al., 1997; Roberts et al., 2002).

Apparent digestibility (AD) was significantly higher in the treatments with intermediate (IRGA 416) and low (Mochi) amylose content (Table 2). Digestibility studies based on the analysis of starch in the feces have demonstrated an almost complete digestion (99.9%) of starch from cooked and raw waxy and non-waxy rice cultivars in rats and humans (Eggum et al., 1993). However, due to the fact that the diets were isoproteic, isolipidic and isocaloric, the differences in the digestibility observed in the present study can be explained by the differences in the molecular structure between amylose and amylopectin. Amylose, having an essentially linear and packed chain, is more compact in the granule, which makes the access of digestive enzymes difficult; on the contrary, the amylopectin molecule, having a branched chain, allows greater access of these enzymes. Thus, amylose might not be totally digested by the enzymes in the gastrointestinal tract, being partly excreted in the feces (Behall et al., 1988; Goddard et al., 1984; Denardin et al., 2007), leading to the lower AD observed in the treatment with higher amylose content (IRGA 417). Even the researches concerning the *in vitro* starch digestibility of rice cultivars with varying amylose content reinforce this hypothesis, once the cultivars with higher amylose content presented lower digestibility than those with low amylose content (Hu et al., 2004; Frei et al., 2003).

Wet and dry fecal production, fecal water content, fecal pH and nitrogen excretion.

Although wet (WFP) and dry (DFP) fecal production were not affected by amylose content, treatments with intermediate and low amylose content showed significantly lower fecal water content (Table 3). The increased fecal water content in the treatment with high amylose (IRGA 417) confirms the lower digestibility of amylose by enzymes in the gastrointestinal

tract. Studies have demonstrated that a higher content of slowly digestible and/or indigestible carbohydrates in the large intestine and cecum results in increased microbial activity and excretion, composed by 80% of water, and may represent a significant percentage of the fecal bulk (Cherbut et al., 1997), justifying the higher fecal water content of the animals under IRGA 417 treatment. This increase in fecal water content is important to prevent constipation and hemorrhoids, as well as to provide substrate for microbial growth, which increases the production and concentration of potentially protective products while diluting the concentration of potentially toxic compounds (Cherbut et al., 1997).

The reduction in fecal pH and the increase in fecal nitrogen excretion also demonstrate the increased microbial activity observed in the treatment with high amylose content (IRGA 417) (Table 3). From the results, it can be hypothesized that the higher the amylose content in the diet, the more substrate available for fermentation, which, when reaching the colon, is fermented by the bacterial flora, resulting in the production of organic acids. Part of these acids is used by the organism, being an important source of energy to the colon, besides being responsible for modulating the immune response and intestinal flora (Brouns et al., 2002). Early epidemiological studies indicate that some short-chain fatty acids, especially propionate and butyrate, may reduce by 25-30% the risk of colorectal cancer, helping in the maintenance of intestinal health and reducing risk factors associated with the development of intestinal inflammation (Brouns et al., 2002). The other part of the produced acids is excreted in the feces, resulting in the lower pH observed in the treatment with high amylose content (IRGA 417), which is desirable for the maintenance of the intestinal microflora.

The increase in fecal nitrogen excretion is also an indication of increased fermentative activity with higher amylose content (IRGA 417) (Table 3). A similar result was observed by Younes and colleagues (1995) who, adding indigestible starch fractions to the diet of rats, observed significant increase in fecal nitrogen excretion, which is normally associated with

considerable development of caecum microflora, since the breakdown of high amounts of carbohydrates increases nitrogen incorporation into bacterial proteins (Younes et al., 1995). The nitrogen required for optimal bacterial growth is provided by proteins escaping small intestine breakdown, endogenous proteins (pancreatic and intestinal secretions, sloughed epithelial cells), or blood urea diffusing into digestive contents (Younes et al., 1995). Therefore, the increase in fecal nitrogen excretion could correspond to an increased fecal excretion of bacterial proteins and the change of nitrogen excretion from urine to the feces (Demigné & Rémésy, 1982). This change in nitrogen excretion from urine to the feces may help in the management of chronic renal disease (Younes et al., 1995). Besides, several sources of nitrogen used for rapid bacterial growth are metabolites of protein (phenol, cresol, indoles, amines and ammonia) that may have deleterious effects on the organism, such as development of skin, bladder and bowel cancer. So the presence of fermentable carbohydrates in the colon, neutralizing these metabolites, reduces the risk of certain kinds of cancer (Tharanathan, 2002).

Postprandial blood glucose response, serum analyses and organs' weights. Although the glycemic response at 15 minutes was similar in all the treatments, the animals in the treatments with intermediate (IRGA 416) and low (MOCHI) amylose contents presented significantly higher postprandial blood glucose responses in the other points of the curve (60 min) compared to the animals in the treatment with high amylose content (IRGA 417) (Figure 1). Similar to the results observed in the present work, Kabir et al. (1998), evaluating the effect of amylose content on glycemic response in rats, observed that the consumption of a diet rich in amylose for three weeks reduced the postprandial blood glucose response, glucose incorporation into lipids and epididymal fat pads of the animals. Similarly, Goddard et al. (1984) and Brand Miller et al., (1992), evaluating the effect of increased contents of amylose

of rice cultivars on the glycemic response in humans, also observed that amylose content is directly related to glycemic and insulinemic responses.

The higher postprandial blood glucose response in the animals undergoing treatment with intermediate (IRGA 416) and low (Mochi) amylose content is explained by the lower digestibility of this polymer when compared to amylopectin. Although not significant, the lower glycemic response in the treatments with high amylose content is especially important for patients with diabetes, helping in the maintenance of regular levels of blood glucose. According to Jenkins et al. (1987), high-carbohydrate diets, particularly in the form of high-glycemic index carbohydrates, are related to various deleterious effects like postprandial hyperinsulinemia, β -cell dysfunction with subsequent development of insulin resistance, obesity, atherosclerosis, among other chronic diseases in the modern society.

However, according to Panlasigui et al. (1991), the amylose content of rice alone should not be considered as a decisive factor of starch digestibility and glycemic response to this cereal, because rice cultivars with similar amylose content can differ in physiochemical properties, especially concerning its gelatinization. Studying the rate of *in vitro* starch digestion and *in vivo* blood glucose and insulin responses to three varieties of long-grain rice with similar amylose contents (26.7-27.0%), these researchers observed lower responses to glucose and insulin in diets with grains of rice cultivars that presented technological characteristics of high gelatinization temperature, high minimum cooking time, low amylograph consistence and low expansion volume upon cooking.

Some researchers relate high blood glucose concentrations as being the main determining factor of high serum total cholesterol and triglyceride concentrations, influencing the progression of coronary diseases and non-insulin-dependent diabetes (Zavarini et al., 1989). In the present work, the serum cholesterol and triglyceride levels were higher in the

treatments with higher glycemic response (IRGA 416 e Mochi) and the serum HDL cholesterol was not affected by the diet.

Similarly to what was observed in the present work, Behall et al. (1988), evaluating the effect of diets with 30 and 70% of amylose on humans, did not observe significant differences in serum HDL cholesterol and observed a significant decrease in serum triglycerides, insulin and total cholesterol levels after the consumption of a diet rich in amylose compared to a diet rich in amylopectin. It was observed in these researches that the use of a diet rich in amylose can be beneficial for people with intolerance to a diet with standard carbohydrate and for obese and diabetic patients with high plasma glucose and insulin levels and apparent insulin resistance. Similarly, Jenkins et al. (1987) and Pawlak et al. (2004), evaluating the effect of diets with high and low glycemic index on humans and animals, respectively, concluded that diets with lower glycemic response decrease postprandial blood glucose, triglycerides and total cholesterol, and damages caused to the pancreatic islets.

This fact can also be explained by the relationship between starch digestibility and its effect on glucose hepatic metabolism. Reaching the liver, glucose originated from starch degradation follows three main pathways: a) transported to the blood, in order to maintain its concentration sufficiently high to supply energy to the brain and other tissues; b) converted into glycogen, stored in the liver and muscles; c) converted into fatty acids, transported by the triglycerides (Linder, 1991). Amylopectin, being more easily degraded, provides a higher glucose flow to the liver when compared to amylose, within the same period of time. This higher flow produces excess of glucose in the liver, which will be metabolized into fatty acids, and transported by triglycerides and cholesterol to be stored in the adipose tissue, resulting in an increase in serum triglycerides and cholesterol.

However, it is important to point out that, as opposed to expected, the fasting serum glucose concentration of the animals undergoing treatment with intermediate (IRGA 416) and low (Mochi) amylose content was lower compared to those in IRGA 417 treatment (Table 4). The maintenance of the fasting plasma glucose concentration is primarily the responsibility of the liver, which provides glucose to all the tissues in the body either by breaking down its own stores of glycogen or by synthesizing glucose from gluconeogenic precursors, events mediated by the action of two hormones: insulin and glucagon. In animal species in which the basal rate of glucose turnover is higher than in humans – for example, in dogs (3.6 mg/min/kg) and rats (7.2 mg/min/kg) – the limited capacity of the liver to store glycogen results in an increase in the role of gluconeogenesis in the maintenance of basal glycemia. When glycogen stores are depleted, there is a small decrease in the blood glucose concentration, which in turn leads to a decline in pancreatic insulin secretion and the stimulation of glucagon release. The resulting hypoinsulinemia activates the release of fat from adipose tissue, increasing plasma free fatty acids levels, which provide energy to gluconeogenesis (DeFronzo & Ferrannini, 1995).

According to Benton (2002), the frequent intake of diets containing large amounts of starch has been associated with hypoglycemic response several hours after the meal. This event, also known as reactive hypoglycemia or food-stimulated (postprandial) hypoglycemia, can be produced by the high levels of insulin released for a prolonged period after the meal, so that the levels of blood glucose drop to such an extent that cerebral activity is disrupted. Fasting hypoglycemia most frequently happens in diabetic patients who make use of insulin for the treatment of *diabetes mellitus*. However, a number of other disorders are also associated with hypoglycemia, like insulinoma, endocrine deficiencies, postprandial reactive hypoglycemia, and inherited metabolic disorders.

The different amylose content of the experimental diets also affected pancreas weight, which was higher in the treatments with intermediate (IRGA 416) and low (Mochi) amylose contents, while epididymal fat pads weight was not affected. The liver weight was higher in the animals undergoing treatment with high (IRGA 417) amylose content (Table 5).

Several researches with animals have evaluated the effect of diets containing starches with different digestibility in the weight of organs such as liver and kidney, and epididymal fat pads (Kabir et al., 1998; Kim et al., 2003), however no researches evaluating the pancreas weight were found. Pancreas is the main organ responsible for producing, storing and secreting hormones and enzymes responsible for digestion and blood glucose levels (insulin and glucagon). Immediately after the meal, the increased blood glucose induces pancreatic insulin production and release by the pancreatic β -cells, which stimulates the degradation (glycolysis) or storage (adipose tissue and muscle) of the excess of glucose. After a few hours of fasting, as in the period between meals, the decrease in plasma glucose levels stimulates the release of glucagon by the pancreatic α -cells, leading to the stimulation of the liver glycogen degradation, increasing the synthesis of the enzymes necessary for gluconeogenesis and lipidic oxidation in the adipose tissue, providing glucose to the blood flow.

So this increase in the weight of the pancreas of the animals undergoing treatment with intermediate (IRGA 416) and low (Mochi) amylose content can be explained by the increase in metabolic activity in this organ, since amylopectin, being more quickly digested than amylose, can produce a sharper increase in the blood postprandial glucose levels, demanding a higher production of insulin by the pancreas to regulate these increased levels. Thus, this increased insulin requirement by the metabolism promotes a hypertrophy and/or hormone accumulation in this organ, which can explain the increased pancreas weight observed in the animals of the treatments containing intermediate and low amylose content (IRGA 416 and Mochi). Moreover, Pawlak and colleagues (2004), when studying the effect

of diets with high and low glycemic responses on glycemic and lipidic metabolism in rats, observed that the pancreatic islets of the animals consuming a high glycemic response diet showed a significant increase in the proportion of abnormal β -cells, with severe disruption of islet-cell architecture and islet fibrosis, which could result in an increase in the organ's weight.

Similar to the results observed in this work, Kabir et al. (1998) and Kim et al. (2003), both evaluating the effect of starch with different digestibilities on healthy and diabetic rats, did not observe significant effects on the epididymal fat pads of the animals. On the other hand, Goda et al. (1994) evaluating the effect of two diets, one containing standard cornstarch rich in amylopectin (control diet) and the other with high-amylose cornstarch (70% amylose), in the digestion, absorption and lipogenesis in rats, observed that the weights of both epididymal and mesentery adipose tissues were reduced by 30% in rats fed the high amylose diet.

As for liver weight of the animals, no differences were observed in the organ's weight in response to diets with different digestibilities (Kabir et al., 1998; Kim et al., 2003), while others (Zhou & Kaplan, 1997) observed that liver weight was significantly lower in the low digestibility diets, though no effect of the amylose:amylopectin ratio was observed. In the present study, liver weight also did not correlate with the amylose:amylopectin ratio in rice grains, since the treatments with low (Mochi) and high (IRGA 417) amylose content presented higher organ's weights.

CONCLUSION

Through the results obtained and discussed in this work, it can be concluded that the amylose:amylopectin ratio significantly affects rice starch digestion in the gastrointestinal

tract, influencing body weight gain, feed intake, fecal constitution, serum glucose, triglycerides and total cholesterol levels, and pancreas weight.

Thus, amylose content, normally used to evaluate some properties of product consumption (cohesion, softness, cooking water consumption, cooking time and cooking gravimetric and volumetric yields), can aid in the choice of the grain to be used in the diet aiming at controlling some biologically relevant parameters, such as blood glucose and triglycerides concentrations.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the financial support Granted by “Instituto Riograndense do Arroz (IRGA)”, “Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)” and “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)”, and “Doles Company” for the generous supply of the kits for serum analyses.

REFERENCES

- AOAC (1995). *Official Methods of Analysis*, 16th ed., Supplement 1998. Association of Official Analytical Chemists: Washington.
- Behall, K.M.; Scholfield, D.J.; Canary, J. (1988). Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. *Am J Clin Nutr*, 47, 428-432.
- Benton, D. (2002). Carbohydrate ingestion, blood glucose and mood. *Neurosci. Biobehav. R.*, 26, 293-308.
- Brand-Miller, J.; Pang, E.; Bramall, L. (1992). Rice: a high or low glycemic index food? *Am. J. Clin. Nutr.*, 56, 1034-1036.
- Brouns, F., Kettlitz, B., Arrigoni, E. (2002). Resistant starch and “the butyrate revolution”. *Trends Food Sci. Tech*, 13, 251-261.

- Cherbut, C., Aube, A.C., Mekki, N., Dubois, C., Lairon, D., Barry, J.L. (1997). Digestive and metabolic effect of potato and maize fibers in human subjects. *Brit. J. Nutr.*, 77, 33-46.
- Coffman, W.R.; Juliano, B.O. (1987). Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement. In *Rice*, Olson, R.A.; Frey, K.J., Eds.; Madison: American Society of Agronomy; Chapter 5; pp. 101-131.
- Defronzo, R.A.; Ferrannini, E. (1995). Regulation of intermediary metabolism during fasting and feeding. In *Endocrinology*, 3rd ed.; De Groot, L.J.; Besser, G.M.; Cahill, G.F.Jr.; Marshall, J.C.; Nelson, D.H.; Odell, W.D.; Potts, J.T.Jr.; Rubenstein, A.H.; Steinberger, E. Eds.; W.B. Saunders: Philadelphia; Chapter 81, Vol. 2, pp.1389-1410.
- Demigné, C.; Rémésy, C. (1982). Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. *J. Nutr.*, 112, 2227-2234.
- Denardin, C.C.; Walter, M.; Silva, L.P.; Souto, G.D.; Fagundes, C.A.A. (2007). Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats. *Food Chem.*, 105, 1474-1479.
- Eggum, B.O. Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Acedo, E.F. (1993). The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. *J. Cereal Sci.*, 18, 159-170.
- 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 Chem.*, 83, 395-402.
- Gilbert, G.A.; Spragg, S.P. (1964). Iodine Sorption: "Blue Value". In: Whistler, R.L. et al. *Methods in Carbohydrate Chemistry: volume IV – starch*. London: Academic Press; p.168-169.

- Goda, T.; Urakawa, T.; Watanabe, M.; Takase, S. (1994). Effect of high-amylose starch on carbohydrate digestive capability and lipogenesis in epididymal adipose tissue and liver of rats. *J. Nutr. Biochem.*, 5(5), 256-260.
- Goddard, M.S.; Young, G.; Marcus, R. (1984). The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am J Clin Nutr.*, 39, 388-392.
- Hu, P.; Zhao, H.; Duan, Z.; Linlin, Z.; Wu, D. (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *J Cereal Sci.*, 40, 231-237.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Collier, G.R., Ocana, A., Venketeshwer Rao, A., Buckley, G., Lam, Y., Mayer, A., Thompson, L.U. (1987). Metabolic effects of a low-glycemic-index diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, 46, 968-75.
- Kabir, M.; Rizkalla, S.W.; Champ, M.; Luo, J.; Boillot, J.; Bruzzo, F.; Slama, G. (1998). Dietary amylose-amylopectin starch content affects glucose and lipid metabolism in adipocytes of normal and diabetic rats. *J Nutr.*, 128, 35-43.
- Kim, W.K.; Chung, M.K.; Kang, N.E.; Myung, H.K.; Park, O.J. (2003). Effect of resistant starch from corn and rice on glucose control, colonic events, and blood lipid concentration in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Nutr. Biochem.*, 14, 166-172.
- Linder, M.C. (1991). Nutrition and metabolism of carbohydrates. In *Nutritional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications*, 2^a ed. APPLETON & LANGE: United States of America; pp. 21-48.
- Mayer, J. (1953). Glucostatic mechanism of regulation of food intake. *New Eng. J. Med.*, 249, 13-16.
- Panlasigui, L.N.; Thompson, L.U.; Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Yiu, S.H.; Greenberg, G.R. (1991). Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 54, 871-877.

- Pawlak, D.B., Kushner, J.A., Ludwig, D.S. (2004). Effects of dietary glycaemic index on adiposity, glucose homeostasis, and plasma lipids in animals. *Lancet.*, 364, 778-785.
- Ramirez, I. (1991). Starch flavor: Apparent discrimination between amylopectin and amylose by rats. *Physiol Behav.*, 50(6), 1181-1186.
- Reeves, P.G.; Nielsen, F.H.; Fahey Jr., G.C. (1993). AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J. Nutr.*, 23, 1939-51.
- Roberts, S.B., Mccrory, M.A., Saltzman, E. (2002). The influence of dietary composition on energy intake and body weight. *J. Am. Coll. Nutr.*, 21(2), 140S-145S.
- Sclafani, A., Nissenbaum, J.W., Vigorito, M. (1987). Starch preference in rats. *Neurosci.Biobehav. R.*, 11(2), 253-262.
- Stewart, S.L., Black, R.M., Wolever, T.M.S., Anderson, G.H. (1997). The relationship between the glycaemic response to breakfast cereals and subjective appetite and food intake. *Nutr. Res.*, 17(8), 1249-1260.
- Tharanathan, R.N. (2002). Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Crit Rev Biotechnol.*, 22, 65-84.
- Younes, H.; Demigné, C.; Behr, S.; Rémésy, C. (1995). Resistant starch exerts a lowering effect on plasma urea by enhancing urea N transfer into the large intestine. *Nutr. Res.*, 15, 1199-1210.
- Zavarini, I; Bonora, E.; Pagliara, M. (1989). Risk factors for coronary artery disease in healthy persons with hyperinsulinaemia and normal glucose tolerance. *N. Engl. J. Med.*, 320, 702-706
- Zhou, X.; Kaplan, M.L. (1997). Soluble amylose cornstarch is more digestible than soluble amylopectin potato starch in rats. *Am Soc Nutr Sci.*, 1349-1356

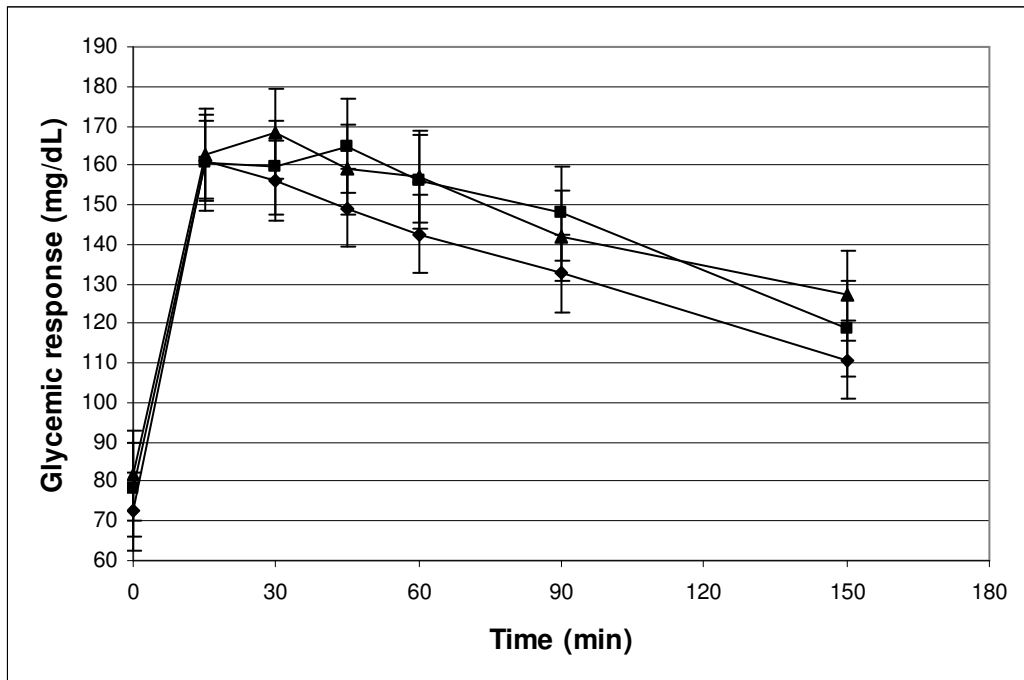


Figure 1. Postprandial blood glucose response (mean \pm SD) in rats consuming diets with different amylose:amylopectin ratios. (- \blacklozenge -) treatment with high amylose content (IRGA 417), (- \blacksquare -) treatment with intermediate amylose content (IRGA 416), (- \blacktriangle -) treatment with low amylose content (MOCHI).

Table 1. Nutrient composition of the experimental diets (g/kg)

	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Rice	608.74	596.78	583.24
Casein	148.24	159.42	163.29
Sucrose	100.0	100.0	100.0
Soybean oil	66.59	66.41	65.14
Wheat fiber (isolated in neutral detergent)	27.45	28.46	38.95
Mineral mix *	35.0	35.0	35.0
Vitamin mix **	10.0	10.0	10.0
L-Methionine	3.0	3.0	3.0
Choline bitartrate	2.5	2.5	2.5
TBHQ***	0.014	0.014	0.014
<hr/>			
Starch (%)	52.95	52.95	52.94
Protein (%)	19.25	19.17	19.18
Fat (%)	7.00	7.00	7.00
Fiber (%)	5.00	5.00	5.00
Crude energy (kcal)	3518	3595	3515

* Mineral mix (g or mg/kg mix): Ca 142.94g; P 44.61g; K 102.81g; Na 29.11g; Cl 44.89g; S 8.57g; Mg 14.48g; Fe 1.00g; Zn 0.86g; Si 0.14g; Mn 0.30g; Cu 0.17g; Cr 0.03g; B 14.26mg; F 28.73mg; Ni 14.31mg; Li 2.85mg; Se 4.28mg; I 5.93mg; Mo 4.32mg; V 2.87mg;

** Vitamin mix (g or mg/kg mix): nicotinic acid 3.00g; Ca pantothenate 1.60g; pyridoxine-HCl 0.70g; thiamin-HCl 0.60g; riboflavin 0.60g; folic acid 0.20g; biotin 0.02g; vitamin B12 2.50mg; vitamin E 15.00g; vitamin A 0.80g; vitamin D3 0.25g; vitamin K1 0.075g.

*** TBHQ – tertiary-butylhydroquinone.

Table 2. Effect of different amylose:amylopectin ratios on body weight gain, apparent digestibility (AD) and daily feed intake of the animals

	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Body weight gain (g/day)	105.68±7.20 ^b	115.88±2.90 ^a	115.35±5.26 ^a
AD (%)	94.13±0.45 ^b	94.66±0.47 ^a	94.63±0.36 ^a
Feed intake (g/day)	17.80±0.40 ^b	17.57±0.90 ^b	18.73±0.37 ^a

Results expressed as mean values ± standard deviation;

Mean values followed by different letter on the same line are significantly different (Duncan's test at a level of 10% of significance).

Table 3. Effect of different amylose:amylopectin ratios on wet (WFP) and dry (DFP) fecal production, fecal water content (FWC), fecal pH and nitrogen excretion (NF) of the animals

	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
WFP (g/day)	1.58±0.08 ^{NS}	1.48±0.22 ^{NS}	1.42±0.14 ^{NS}
DFP (g/day)	0.91±0.05 ^{NS}	0.88±0.07 ^{NS}	0.92±0.08 ^{NS}
FWC (%)	40.77±2.67 ^a	33.92±3.19 ^b	34.16±2.71 ^b
Fecal pH	7.00±0.11 ^b	7.30±0.20 ^a	7.10±0.07 ^b
NF (%)	6.34±0.24 ^a	6.04±0.23 ^b	4.15±0.08 ^c

Results expressed as mean values ± standard deviation;

Mean values followed by different letter on the same line are significantly different (Duncan's test at a level of 10% of significance).

Table 4. Effect of different amylose:amylopectin ratios on fasting serum glucose, total cholesterol, HDL cholesterol and triglycerides of the animals

	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Glucose (mg/dl)	174.50±21.96 ^a	141.34±16.38 ^b	150.35±12.30 ^b
Triglycerides (mg/dl)	71.57±11.18 ^b	77.47±13.22 ^{ab}	87.57±8.46 ^a
Total cholesterol (mg/dl)	63.67±4.81 ^b	74.01±9.03 ^a	79.06±10.60 ^a
HDL cholesterol (mg/dl)	59.57±4.06 ^{NS}	61.79±7.94 ^{NS}	65.51±7.38 ^{NS}

Results expressed as mean values ± standard deviation;

Mean values followed by different letter on the same line are significantly different (Duncan's test at a level of 10% of significance).

Table 5. Effect of different amylose:amylopectin ratios on the weight of the liver, pancreas and epididymal fat pad (g/100g of animal weight) of the animals

	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Liver	3.65±0.25 ^a	3.53±0.09 ^b	3.72±0.12 ^a
Pancreas	0.42±0.04 ^b	0.49±0.06 ^a	0.48±0.03 ^a
Epididymal fat pad	1.61±0.24 ^{NS}	1.61±0.13 ^{NS}	1.70±0.50 ^{NS}

Results expressed as mean values ± standard deviation;

Mean values followed by different letter on the same line are significantly different (Duncan's test at a level of 10% of significance).

3.2. ARTIGO 2 – VERSÃO EM PORTUGUÊS

Submetido à Food Research International

(Configuração conforme normas da revista – Anexo 2)

EFEITO DO TEOR DE AMILOSE SOBRE O DESEMPENHO, METABOLISMO GLICÊMICO E LIPÍDICO EM RATOS

Cristiane Casagrande Denardin^{*†}, Nardeli Bouffleur[†], Patrícia Reckziegel[†], Leila P. da Silva[‡],
Melissa Walter[§]

Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL), Departamento de Zootecnia e Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário. Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP 97105-900, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de dietas com alto, intermediário e baixo teor de amilose sobre o desempenho, metabolismo glicêmico e lipídico em ratos. Foram utilizados ratos machos Wistar alimentados com rações experimentais elaboradas com grãos de arroz cozido dos cultivares IRGA 417, IRGA 416 e Mochi com alto, intermediário e baixo teores de amilose, respectivamente. A produção de fezes úmidas e secas, colesterol HDL e peso da gordura epididimal não foram afetados pelo teor de amilose dos grãos. Os animais submetidos ao tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417) apresentaram menor consumo, ganho de peso e digestibilidade aparente, maior umidade nas fezes e excreção de nitrogênio, reduzido pH fecal, concentração plasmática posprandial de glicose, colesterol total, triglicerídeos e peso do pâncreas e maior concentração de glicose no jejum e peso do fígado. A proporção amilose e amilopectina nos grãos afeta significativamente a digestão do amido de arroz no trato gastrointestinal, afetando alguns parâmetros biologicamente relevantes.

KEYWORDS: grãos de arroz, hiperglicemia, resposta metabólica, ratos

* Autor para correspondência. Tel: + 55 55 3220 8547. Fax: + 55 55 3220 8323. E-mail: cristiane_denardin@yahoo.com.br.

† Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL). nardelibou@hotmail.com and patriciar@mail.ufsm.br.

‡ Departamento de Zootecnia. leilasliva@yahoo.com.br.

§ Departamento de Fitotecnia. melmelissaw@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é um alimento consumido por 2/3 da população mundial e, ao menos para a metade dessa mesma população (incluindo vários países da América Latina, Ásia e ilhas do Pacífico), constitui-se a principal fonte de energia da dieta (Hu, Zhao, Duan, Linlin & Wu, 2004). Esta popularidade se deve, em especial, por ser um alimento de baixo custo, de fácil e rápido preparo e bastante versátil, pois combina com várias preparações.

Este cereal é composto basicamente de carboidratos, os quais estão presentes, na maior parte, sob a forma de amido (90%), no endosperma (Coffman & Juliano, 1987), o qual pode variar em quantidade no grão, devido a influências genéticas e ambientais. Além disso, a taxa e extensão da digestão do amido podem ser influenciadas por diferentes fatores, destacando-se a variação na proporção amilose:amilopectina, o processamento dos grãos (principalmente no que diz respeito a parboilização), as propriedades físico-químicas (particularmente as características de gelatinização), o tamanho de partícula e a presença de complexos amilose-lipídio (Hu et al., 2004).

As principais diferenças existentes na composição do amido e que influenciam profundamente as propriedades físico-químicas e metabólicas do arroz são causadas pela variação na proporção de seus dois polímeros formadores, amilose e amilopectina. A amilose apresenta cadeia linear, composta por moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas do tipo α -1,4, enquanto a amilopectina, um polímero ramificado, possui ligações α -1,4 e α -1,6. Pesquisas realizadas por Frei, Siddhuraju e Becker (2003) descrevem grande variação na proporção amilose:amilopectina em grãos de arroz de diferentes cultivares, o que permite classificá-los quanto ao teor de amilose, em ceroso (1-2% amilose), muito baixo teor (2-12%), baixo teor (12-20%), intermediário teor (20-25%) e alto teor (25-33%) (Coffman & Juliano, 1987).

Considerando os efeitos metabólicos, Frei et al. (2003) discutem que alimentos amiláceos com elevados níveis de amilose estão associados a menor resposta glicêmica e esvaziamento mais lento do trato gastrointestinal do que aqueles com baixos níveis deste polímero. Estas condições são relevantes especialmente para a formulação de dietas para diabéticos, pois a digestão e absorção lentas de carboidratos ajudam a manter regulares os níveis de glicose sanguínea e a diminuir a resposta insulinêmica, provavelmente pelo aumento do tempo de trânsito intestinal (Behall, Scholfield & Canary, 1988). Esta variação, aliada ao método de preparo, pode levar a diferentes respostas glicêmicas e insulinêmicas, bem como, de perfil hormonal (Goddard, Young & Marcus, 1984).

Diante deste fato e considerando que as preferências da população brasileira quanto as características sensoriais do arroz variam de acordo com a região, o que está intimamente correlacionada com as proporções de amilose:amilopectina presentes dos grãos das diferentes cultivares, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito do consumo de dietas elaboradas com teores crescentes de amilose sobre o desempenho, metabolismo glicídico e lipídico em ratos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Rações experimentais e tratamentos

Foram formuladas três rações (Tabela 1), de acordo com as recomendações do American Institute of Nutrition (AIN) (Reeves, Nielsen & Fahey, 1993), mediante substituição total do amido de milho, e parcial da caseína e do óleo de soja, por grãos de arroz cozido dos cultivares IRGA 417, IRGA 416 e Mochi obtidos na Estação Experimental do Arroz do IRGA (Cachoeirinha/RS), no ano de 2004. Estas dietas foram isonutritivas (Tabela 1). Os grãos de arroz foram cozidos tradicionalmente, secos em estufa com circulação forçada de ar ($45\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas), moídos em granulometria idêntica e imediatamente utilizados para a elaboração das rações. Estas três rações formaram os tratamentos; IRGA 417: ração formulada com grãos de arroz cozido do cultivar IRGA 417, com 22,95% de amilose; IRGA 416: ração formulada com grãos de arroz cozido do cultivar IRGA 416 com 17,42% de amilose; Mochi: ração formulada com grãos de arroz cozido do cultivar Mochi com 2,92% de amilose.

Animais experimentais e condução do experimento

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem Estar Animal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) sob protocolo de nº 23081.004118/2007-34. Para realização do experimento, foram utilizados 24 ratos (*Rattus norvegicus* Wistar albino F1) machos – Biotério Central da UFSM – ($59,2\pm 5,2\text{g}$), distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos (oito animais/tratamento), e alojados em gaiolas metabólicas individuais, com livre acesso à ração e à água. O período de adaptação dos animais à dieta foi de cinco dias. Na seqüência, teve início o período experimental de 25 dias, no qual, diariamente, foi realizada a determinação da quantidade de ração consumida e a coleta das fezes. O peso corporal dos animais foi obtido a cada três dias. Estes dados e amostras foram coletados a fim de

determinar o consumo, ganho de peso, produção de fezes úmidas e secas, digestibilidade aparente na matéria seca, umidade, pH das fezes e excreção de nitrogênio nas fezes.

A partir do quinto dia experimental os animais foram selecionados aleatoriamente a cada dois dias, em grupos de oito (um animal/tratamento), para análise da concentração plasmática pós-prandial de glicose, sendo aqueles submetidos à intervenção, excluídos na seleção seguinte. Após 12h de jejum, os animais receberam 2g de ração que foi totalmente consumida em um prazo de 20 minutos. A glicemia de jejum (antes do consumo da ração) e de 15, 30, 45, 60, 90 e 150 minutos após a ingestão foi determinada por coleta de sangue da veia caudal utilizando-se o aparelho Accu-Chek Active[®] (Roche). Após a análise da curva glicêmica de todos os animais, um período de dois dias para a recuperação do estresse causado pelo jejum e manuseio foi obedecido, sendo reiniciado o período experimental no 11^o dia do ensaio.

No último dia experimental, após jejum de 12h, os animais foram pesados, anestesiados e eutanasiados por punção cardíaca, sendo coletado sangue para posterior quantificação de glicose, colesterol total e HDL e triglicerídeos. Nesta ocasião, também foram retirados e pesados o fígado, pâncreas e gordura epididimal, para determinação do peso de órgãos.

Durante todo o período do experimento, a temperatura foi mantida a $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ e a luminosidade controlada alternando períodos de 12 horas de luz/escuro.

Métodos analíticos

O conteúdo de amilose dos grãos foi determinado de acordo com o método iodométrico (Blue Value), descrito por Gilbert e Spragg (1964). As determinações de umidade (105°C/12 horas) e nitrogênio nas fezes (Micro-Kjeldahl) foram realizadas segundo metodologias descritas pela AOAC (1995). O pH fecal foi determinado em solução de 1g de fezes parcialmente secas (60°C/48 horas) em 10mL de água destilada. A digestibilidade aparente na matéria seca (DA) foi determinada como a proporção de alimento consumido não recuperado nas fezes. A determinação das análises sanguíneas, glicose, colesterol total e HDL, e triglicerídeos foram realizada com os kits glucox 500, Colesterol 250 enzimático, colesterol HDL e triglicérides Enzimático Líquido Doles[®] (Goiânia, Goiás, Brasil), respectivamente. O peso dos órgãos, fígado, pâncreas e a gordura epididimal isolada foram calculados como g/100g de peso animal.

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Duncan a 10% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa SPSS para Windows 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consumo, ganho de peso e digestibilidade aparente na matéria seca. Os animais submetidos ao tratamento Mochi (baixo teor de amilose) apresentaram maior ganho de peso e consumo médio do que os submetidos aos tratamentos com teores de amilose intermediário (IRGA 416) e alto (IRGA 417) (Tabela 2).

A maioria dos trabalhos realizados com ratos e humanos têm demonstrado que dietas com teores diferenciados de amilose não influenciam o consumo e ganho de peso em animais (Goddard et al., 1984; Kabir et al., 1998). Porém, Zhou & Kaplan (1997) ao avaliarem a digestibilidade em ratos de duas fontes de amido, um de batata com 70-75% de amilopectina e outro de milho com 70% de amilose, por quatro semanas, também observaram aumento significativo no consumo da dieta rica em amilopectina, embora sem reflexos sobre o ganho de peso dos animais. Em geral, atribuiu-se melhores características de palatabilidade a grãos de arroz com menor teor de amilose (Ramirez, 1991), o que pode explicar o maior consumo que, aliado a maior digestibilidade da amilopectina, teve reflexos diretos sobre o ganho de peso dos animais. Esta hipótese é fortalecida pelo estudo realizado por Sclafani e colaboradores (1987) com ratos, que demonstrou que os animais possuem receptores que distinguem o sabor de carboidratos como o amido, o que leva à preferência pelo consumo do amido ramificado (amilopectina) ao amido com cadeia linear (amilose).

Além disso, alguns estudos propõem que a ingestão de alimentos é afetada por muitos sinais metabólicos e fisiológicos, sendo que sua regulação é parcialmente dependente do metabolismo de carboidratos, como proposto pela teoria glicostática proposta por Mayer (1953). Devido ao fato da glicose ser o principal combustível para muitos órgãos, principalmente o cérebro, esta teoria propõe que quando a concentração de glicose é insuficiente, o organismo responde estimulando a sensação de fome e a ingestão de alimentos. Além disso, existem hipóteses de que alimentos lentamente digestíveis podem produzir um lento e prolongado fornecimento de glicose após uma refeição, o que promoveria uma saciedade prolongada. Ao contrário, alimentos rapidamente digestíveis, por produzirem um

rápido e acentuado aumento e queda na glicemia e insulinemia, poderiam, com base na teoria glicostática, estimular a fome e a ingestão de alimentos (Stewart et al., 1997; Roberts et al., 2002).

A digestibilidade aparente da matéria seca (DA) foi significativamente maior nos tratamentos com intermediário (IRGA 416) e baixo (Mochi) teor de amilose (Tabela 2). Estudos de digestibilidade baseados em análises de amido nas fezes têm demonstrado uma digestão quase completa (99,9%) do amido em cultivares de arroz ceroso e não ceroso cru e cozido, em ratos e humanos (Eggum et al., 1993). Entretanto, devido ao fato das dietas serem isoprotéicas, isolipídicas e isocalóricas, a diferença de digestibilidade observada no presente estudo pode ser explicada pela diferença na configuração molecular entre amilose e amilopectina. A amilose, por possuir uma cadeia essencialmente linear, apresenta-se mais compactada no grânulo, o que dificulta o acesso das enzimas digestivas, ao contrário do que ocorre com a molécula da amilopectina que, por possuir cadeia ramificada, permite maior acesso das enzimas digestivas. Desta forma, a amilose não é totalmente digerida pelas enzimas no trato gastrintestinal, sendo parte dela excretada nas fezes (Goddard et al., 1984; Behall et al., 1988; Denardin et al., 2007), levando a menor DA observada no tratamento com maior teor de amilose (IRGA 417). Mesmo nos estudos de digestibilidade *in vitro* de cultivares de arroz com teores diferenciados de amilose esta hipótese é reforçada, uma vez que as variedades com maior teor de amilose apresentaram uma menor digestibilidade do que as que possuem menor teor deste polímero (Frei et al., 2003; Hu et al., 2004).

Produção de fezes úmidas e secas, umidade, pH e nitrogênio nas fezes. Embora a produção de fezes úmidas (PFU) e secas (PFS) não tenham sido afetadas pelo conteúdo de amilose, observou-se que a umidade nas fezes foi significativamente menor para os tratamentos com teores de amilose intermediário e baixo (Tabela 3). A maior umidade nas fezes no tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417) confirma a menor digestibilidade deste polímero pelas enzimas do trato gastrintestinal. Estudos demonstram que a elevação nos teores de carboidratos não digestíveis no intestino grosso e ceco resulta em maior atividade e excreção de massa microbiana, composta aproximadamente por 80% de água, a qual pode representar uma porcentagem significativa do volume fecal, justificando o maior teor de umidade nas fezes dos animais que consumiram o tratamento IRGA 417. Este aumento na umidade das fezes é importante para prevenir constipação e hemorróidas, assim como, para fornecer substrato ao crescimento bacteriano, o que aumenta a produção e concentração de produtos

potencialmente protetores, enquanto dilui a produção e concentração de compostos potencialmente tóxicos (Cherbut et al., 1997).

O aumento na atividade microbiana também é demonstrado pela redução no pH fecal e pelo aumento na excreção de nitrogênio, observados para o tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417) (Tabela 3). Quanto maior o teor de amilose na dieta, mais substrato estará disponível para fermentação, o qual, ao atingir o cólon, é fermentado pela flora bacteriana, resultando na produção de ácidos orgânicos. Parte destes ácidos é utilizada pelo organismo fornecendo uma importante fonte de energia para o cólon, além de serem responsáveis pela modulação da resposta imune e da flora intestinal (Brouns et al., 2002). Estudos epidemiológicos sugerem que alguns ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principalmente butirato e propionato, poderiam reduzir em 25-30% o risco de câncer coloretal potencializando a manutenção da saúde intestinal e reduzindo os fatores de risco envolvidos com o desenvolvimento de inflamações intestinais (Brouns et al., 2002). A outra parte é excretada nas fezes, resultando na redução do pH observada para o tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417), o que é desejável para a manutenção do equilíbrio da microbiota intestinal.

O aumento na excreção de nitrogênio também é indicativo de maior atividade fermentativa, como observado no presente estudo para o tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417) (Tabela 3). Resultado semelhante foi observado por Younes et al., (1995) que, adicionando frações indigestíveis de amido à dieta de ratos, observaram aumento significativo na excreção fecal de nitrogênio, o que geralmente é associado ao desenvolvimento considerável da microflora do ceco, visto que a quebra de grandes quantidades de carboidratos aumenta a incorporação de nitrogênio às proteínas bacterianas (Younes et al., 1995). O nitrogênio necessário para o crescimento bacteriano ótimo é fornecido pelas proteínas não digeridas no intestino delgado, pelas proteínas endógenas (secreções pancreática e intestinal, células epiteliais descamadas), ou pela uréia sanguínea transferida para o ceco (Younes et al., 1995). Portanto, o aumento na excreção fecal de nitrogênio poderia corresponder a um aumento na excreção fecal de proteínas bacterianas e a uma troca da excreção de nitrogênio da urina para as fezes (Demigné & Rémésy, 1982). Este desvio da excreção de nitrogênio da via renal para a fecal pode auxiliar no controle de doença renal crônica (Younes et al., 1995). Além disso, várias das fontes de nitrogênio utilizadas para o rápido crescimento bacteriano são metabólitos protéicos (fenol, cresol, indol, aminas e amônia) que apresentam efeitos deletérios ao organismo, como desenvolvimento de câncer de pele, bexiga e intestino. Assim, a presença de carboidratos fermentáveis no cólon, atuando

como neutralizadores destes metabólitos, diminuem o risco de certos tipos de câncer (Tharanathan, 2002).

Glicemia, análises sanguíneas e peso dos órgãos. Embora a resposta glicêmica aos 15min tenha sido semelhante para todos os tratamentos, os animais submetidos aos tratamentos com intermediário (IRGA 416) e baixo teor de amilose (MOCHI) apresentaram maior concentração plasmática pós-prandial de glicose nos demais pontos da curva, quando comparado com os animais do tratamento com teor de amilose alto (IRGA 417) (Figura 1). Semelhante ao observado neste trabalho, Kabir et al. (1998), ao avaliarem o efeito do teor de amilose na resposta glicêmica em ratos, observaram que o consumo de uma dieta rica em amilose por três semanas reduziu a concentração plasmática pós-prandial de glicose, a incorporação de glicose nos lipídios e o tamanho da gordura epididimal dos animais. De forma semelhante, Goddard et al. (1984) e Brand Miller et al., (1992), ao avaliarem o efeito de teores crescentes de amilose em cultivares de arroz sobre a resposta glicêmica em humanos, também observaram que os teores de amilose estão diretamente relacionados à resposta glicêmica e insulinêmica nos indivíduos.

A maior concentração plasmática pós-prandial de glicose nos animais dos tratamentos com intermediário (IRGA 416) e baixo teor de amilose (MOCHI) (Figura 1) é explicada pela digestibilidade mais lenta da amilose quando comparada à amilopectina. Embora não significativa, a menor resposta glicêmica observada para os tratamentos com maior teor de amilose é relevante especialmente para indivíduos diabéticos, auxiliando na manutenção de níveis regulares de glicose no sangue. Segundo Jenkins et al. (1987), alimentos que produzem uma alta resposta glicêmica estariam intimamente relacionados à diversos efeitos deletérios como produção de hiperinsulinemia pós-prandial, disfunção ou desregulação das células β pancreáticas provocando resistência à insulina, obesidade, aterosclerose entre outras doenças crônicas da sociedade moderna.

Entretanto, segundo Panlasigui e colaboradores (1991), o conteúdo de amilose não deve ser considerado sozinho como fator determinante da digestibilidade e resposta glicêmica, uma vez que variedades de arroz com teor de amilose semelhantes podem apresentar propriedades físico-químicas diferentes, especialmente no que diz respeito à gelatinização. Estudando a taxa de digestão de amido *in vitro* e as respostas a glicose e insulina *in vivo* de três cultivares de arroz de grão longo com conteúdos semelhantes de amilose semelhantes (26,7-27%), estes pesquisadores observaram menor resposta fisiológica à glicose e insulina em dietas compostas por grãos de cultivares que apresentavam características tecnológicas de

alta temperatura de gelatinização, alto tempo mínimo de cozimento, baixa consistência amilográfica e baixo volume de expansão sob cozimento.

Alguns pesquisadores relacionam a elevada concentração de glicose sanguínea como sendo o principal determinante do aumento de colesterol e triglicerídeos sanguíneos, o que influencia na progressão de doenças coronárias e do diabetes tipo 2 (Zavarini, Bonora & Pagliara, 1989). No presente trabalho, os níveis de triglicerídeos e colesterol total foram maiores nos tratamentos que apresentaram maior resposta glicêmica (IRGA 416 e MOCHI) e os níveis de colesterol HDL não foram afetados pela dieta (Tabela 4).

Semelhante ao observado neste trabalho, Behall et al. (1988), ao avaliarem o efeito de dietas com 30% e 70% de amilose em humanos, não observaram diferenças significativas nos níveis de colesterol HDL e observaram decréscimo significativo nos triglicerídeos, insulina e colesterol total após o consumo de uma dieta rica em amilose, quando comparada com uma dieta rica em amilopectina. Estas pesquisas concluíram que o uso de uma dieta rica em amilose pode ser benéfico para indivíduos que apresentam intolerância a uma dieta com carboidrato padrão e para indivíduos obesos e diabéticos que apresentam elevada glicose e insulina sanguínea e aparente resistência à insulina. De forma semelhante, Jenkins et al., (1987) e Pawlak et al., (2004), ao estudarem o efeito de dietas com alto e baixo índice glicêmico, em humanos saudáveis e animais, respectivamente, concluíram que dietas de baixa resposta glicêmica reduzem a glicose pós-prandial, os níveis de triglicerídeos e colesterol sanguíneos e os danos causados as ilhotas pancreáticas.

Estas diferenças também podem ser explicadas pela relação entre a digestibilidade das frações do amido e seu efeito no metabolismo da glicose no fígado. Ao chegar ao fígado, a glicose oriunda da degradação do amido segue três vias principais: a) transportada para o sangue, a fim de manter sua concentração suficientemente alta para fornecer energia ao cérebro e outros tecidos; b) convertida em glicogênio, armazenado no fígado e nos músculos; c) convertida em ácidos graxos, transportados pelos triglicerídeos (Linder, 1991). A amilopectina, por ser mais facilmente degradada, proporciona maior fluxo de glicose para o fígado do que a amilose, em um mesmo período de tempo, o que acarreta em um excesso de glicose no fígado, que será metabolizada a ácidos graxos, os quais serão transportados juntamente com os triglicerídeos e colesterol para serem armazenados no tecido adiposo, resultando em aumento da concentração de triglicerídeos e colesterol no plasma.

Torna-se importante ressaltar, no entanto que, ao contrário do esperado, a concentração de glicose sanguínea no jejum dos animais submetidos aos tratamentos com intermediário (IRGA 416) e alto (MOCHI) teores de amilose foi menor, quando comparada

com os animais do tratamento IRGA 417 (Tabela 4). A manutenção da concentração de glicose sanguínea durante o jejum é principalmente de responsabilidade do fígado, o qual fornece glicose para todos os tecidos do corpo através da quebra de suas reservas de glicogênio ou pela síntese de glicose a partir de precursores gliconeogênicos, eventos estes mediados pela ação de dois hormônios, a insulina e o glucagon. Em espécies animais em que a taxa basal de *turnover* de glicose é maior do que em humanos, por exemplo, em cães (3,6 mg/min/Kg) e ratos (7,2 mg/min/Kg), a capacidade limitada do fígado de armazenar glicogênio confere um aumento no papel da gliconeogênese para a manutenção da glicemia basal. Quando os estoques de glicogênio são esgotados, existe uma pequena redução na concentração de glicose sanguínea que leva a redução na secreção de insulina pancreática e estimula a liberação de glucagon. A resultante hipoinsulinemia ativa a liberação de gordura do tecido adiposo, aumentando os níveis de ácidos graxos livres no plasma, os quais fornecem energia para a gliconeogênese (DeFronzo & Ferrannini, 1995).

Segundo Benton (2002), o consumo freqüente e em grande quantidade de alimentos amiláceos têm gerado eventos de hipoglicemia várias horas após a refeição. Este quadro, também conhecido como hipoglicemia reativa ou hipoglicemia espontânea estimulada por alimentos, pode ser gerado pelos altos níveis de insulina liberados por um período prolongado após a refeição, que ao longo do tempo, pode causar uma queda muito acentuada nos níveis de glicose sanguínea. A hipoglicemia no jejum ocorre mais freqüentemente em pacientes que utilizam insulina no tratamento do *diabetes mellitus*. Porém, várias outras desordens também estão associadas com a hipoglicemia, como insulinoma, deficiências endócrinas, hipoglicemia reativa pós-prandial e desordens metabólicas inerentes.

O teor de amilose também influenciou o tamanho do pâncreas dos animais, sendo significativamente maior nos tratamentos com intermediário (IRGA 416) e baixo (MOCHI) teor de amilose, enquanto que a gordura epididimal não foi afetada (Tabela 5). Já, o peso do fígado foi maior nos animais submetidos ao tratamento com alto (IRGA 417) teor de amilose (Tabela 5).

Diversos trabalhos com animais têm avaliado o peso de órgãos como fígado, rins e gordura epididimal em resposta a dietas com amidos de diferentes digestibilidade (Kabir et al., 1998; Kim et al., 2003), porém, não foram encontrados trabalhos avaliando o tamanho do pâncreas. O pâncreas é o principal órgão responsável por produzir, armazenar e secretar hormônios e enzimas responsáveis pela digestão e regulação dos níveis de glicose sanguínea (insulina e glucagon). Imediatamente após uma refeição, a glicose sanguínea elevada induz a produção e liberação de insulina pelas células β pancreáticas, o que estimula a degradação

(glicólise) ou armazenamento (tecido adiposo e músculos) da glicose em excesso. Depois de algumas horas de jejum, como no período entre as refeições, a redução no nível de glicose sanguínea desencadeia a liberação de glucagon pelo pâncreas, provocando uma estimulação na degradação do glicogênio hepático, ativando a gliconeogênese e a oxidação dos lipídios do tecido adiposo, os quais irão fornecer glicose para a corrente sanguínea.

Com isso, este aumento no peso do pâncreas dos animais submetidos aos tratamentos com intermediário (IRGA 416) e baixo (MOCHI) teor de amilose pode ser explicado pelo aumento da atividade metabólica neste órgão, uma vez que a amilopectina por ser mais rapidamente digerida que a amilose, pode provocar uma elevação mais brusca da glicose pós-prandial, o que exigiria uma maior produção de insulina no pâncreas, a fim de regular esta concentração elevada de glicose sanguínea. Portanto, devido a esta maior exigência de insulina pelo metabolismo, o pâncreas pode apresentar uma hipertrofia e/ou maior acúmulo destes hormônios, o que justifica o maior peso do órgão. Além disso, Pawlak e colaboradores (2004), ao avaliarem o efeito de dietas de alta e baixa resposta glicêmica sobre o metabolismo glicêmico e lipídico em ratos, observaram que as ilhotas pancreáticas dos animais submetidos à dieta com alta resposta glicêmica apresentaram uma maior proporção de células β anormais, com severa desorganização na arquitetura e extensa fibrose, o que poderia acarretar em aumento no tamanho do órgão.

Semelhante ao observado neste trabalho, Kabir et al. (1998) e Kim et al. (2003), ambos estudando o efeito de amidos com diferentes digestibilidades em ratos normais e diabéticos, não observaram efeitos significativos no peso da gordura epididimal dos animais. Por outro lado, Goda et al., (1994) ao avaliarem o efeito de duas dietas, uma contendo amido de milho rico em amilopectina (controle) e outra com amido de milho rico em amilose (70% amilose), sobre a digestão, absorção e lipogênese em ratos, observaram que o peso dos tecidos adiposos mesentéricos e epididimal foram reduzidos em 30% nos animais tratados com a dieta rica em amilose.

Quanto ao peso do fígado dos animais, alguns estudos não observaram diferenças no peso do órgão em resposta a dietas com diferentes digestibilidade (Kabir et al., 1998; Kim et al., 2003), enquanto outros (Zhou & Kaplan, 1997), observaram que o peso do fígado foi significativamente menor para os amidos que apresentaram menor digestibilidade, embora não tenham observado efeito da proporção amilose:amilopectina. Em nosso estudo, observamos que o peso do fígado também não foi relacionado com a proporção amilose:amilopectina dos grãos de arroz, uma vez que os tratamentos com baixo (MOCHI) e alto (IRGA 417) teores de amilose apresentaram os maiores pesos no órgão.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e discutidos neste estudo permitem concluir que a proporção amilose:amilopectina afeta significativamente a digestão do amido de arroz no trato gastrintestinal, influenciando o ganho de peso, consumo alimentar, constituição das fezes, concentração plasmática de glicose, triglicerídeos e colesterol e o tamanho do pâncreas.

Desta forma, o teor de amilose, atualmente utilizado para avaliar algumas propriedades de consumo do produto (coesão, maciez, consumo de água na cocção, tempo de cocção e rendimentos gravimétrico e volumétrico na cocção), poderá auxiliar na escolha do grão a ser utilizado na dieta com vistas ao controle de alguns parâmetros biologicamente relevantes, como as concentrações sanguíneas de glicose e triglicerídeos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) pelo fornecimento das amostras e auxílio financeiro, a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de mestrado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de doutorado, e a empresa Doles, pela doação dos *kits* para análises de parâmetros sanguíneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (1995). *Official Methods of Analysis*, 16th ed., Supplement 1998. Association of Official Analytical Chemists: Washington.

Behall, K.M.; Scholfield, D.J.; Canary, J. (1988). Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. *Am J Clin Nutr*, 47, 428-432.

Benton, D. (2002). Carbohydrate ingestion, blood glucose and mood. *Neurosci. Biobehav. R*, 26, 293-308.

Brand-Miller, J.; Pang, E.; Bramall, L. (1992). Rice: a high or low glycemic index food? *Am. J. Clin. Nutr.*, 56, 1034-1036.

Brouns, F., Kettlitz, B., Arrigoni, E. (2002). Resistant starch and “the butyrate revolution”. *Trends Food Sci. Tech*, 13, 251-261.

- Cherbut, C., Aube, A.C., Mekki, N., Dubois, C., Lairon, D., Barry, J.L. (1997). Digestive and metabolic effect of potato and maize fibers in human subjects. *Brit. J. Nutr.*, 77, 33-46.
- Coffman, W.R.; Juliano, B.O. (1987). Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement. In *Rice*, Olson, R.A.; Frey, K.J., Eds.; Madison: American Society of Agronomy; Chapter 5; pp. 101-131.
- Defronzo, R.A.; Ferrannini, E. (1995). Regulation of intermediary metabolism during fasting and feeding. In *Endocrinology*, 3rd ed.; De Groot, L.J.; Besser, G.M.; Cahill, G.F.Jr.; Marshall, J.C.; Nelson, D.H.; Odell, W.D.; Potts, J.T.Jr.; Rubenstein, A.H.; Steinberger, E. Eds.; W.B. Saunders: Philadelphia; Chapter 81, Vol. 2, pp.1389-1410.
- Demigné, C.; Rémésy, C. (1982). Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. *J. Nutr.*, 112, 2227-2234.
- Denardin, C.C.; Walter, M.; Silva, L.P.; Souto, G.D.; Fagundes, C.A.A. (2007). Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats. *Food Chem.*, 105, 1474-1479.
- Eggum, B.O. Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Acedo, E.F. (1993). The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. *J. Cereal Sci.*, 18, 159-170.
- 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 Chem.*, 83, 395-402.
- Gilbert, G.A.; Spragg, S.P. (1964). Iodine Sorption: "Blue Value". In: Whistler, R.L. et al. *Methods in Carbohydrate Chemistry: volume IV – starch*. London: Academic Press; p.168-169.
- Goda, T.; Urakawa, T.; Watanabe, M.; Takase, S. (1994). Effect of high-amylose starch on carbohydrate digestive capability and lipogenesis in epididymal adipose tissue and liver of rats. *J. Nutr. Biochem.*, 5(5), 256-260.
- Goddard, M.S.; Young, G.; Marcus, R. (1984). The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am J Clin Nutr.*, 39, 388-392.

- Hu, P.; Zhao, H.; Duan, Z.; Linlin, Z.; Wu, D. (2004). Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. *J Cereal Sci.*, 40, 231-237.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Collier, G.R., Ocana, A., Venketeshwer Rao, A., Buckley, G., Lam, Y., Mayer, A., Thompson, L.U. (1987). Metabolic effects of a low-glycemic-index diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, 46, 968-75.
- Kabir, M.; Rizkalla, S.W.; Champ, M.; Luo, J.; Boillot, J.; Bruzzo, F.; Slama, G. (1998). Dietary amylose-amylopectin starch content affects glucose and lipid metabolism in adipocytes of normal and diabetic rats. *J Nutr.*, 128, 35-43.
- Kim, W.K.; Chung, M.K.; Kang, N.E.; Myung, H.K.; Park, O.J. (2003). Effect of resistant starch from corn and rice on glucose control, colonic events, and blood lipid concentration in streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Nutr. Biochem.*, 14, 166-172.
- Linder, M.C. (1991). Nutrition and metabolism of carbohydrates. In *Nutritional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications*, 2^a ed. APPLETON & LANGE: United States of America; pp. 21-48.
- Mayer, J. (1953). Glucostatic mechanism of regulation of food intake. *New Eng. J. Med.*, 249, 13-16.
- Panlasigui, L.N.; Thompson, L.U.; Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Yiu, S.H.; Greenberg, G.R. (1991). Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 54, 871-877.
- Pawlak, D.B., Kushner, J.A., Ludwig, D.S. (2004). Effects of dietary glycaemic index on adiposity, glucose homeostasis, and plasma lipids in animals. *Lancet.*, 364, 778-785.
- Ramirez, I. (1991). Starch flavor: Apparent discrimination between amylopectin and amylose by rats. *Physiol Behav.*, 50(6), 1181-1186.
- Reeves, P.G.; Nielsen, F.H.; Fahey Jr., G.C. (1993). AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J. Nutr.*, 23, 1939-51.
- Roberts, S.B., Mccrory, M.A., Saltzman, E. (2002). The influence of dietary composition on energy intake and body weight. *J. Am. Coll. Nutr.*, 21(2), 140S-145S.

- Sclafani, A., Nissenbaum, J.W., Vigorito, M. (1987). Starch preference in rats. *Neurosci.Biobehav. R.*, 11(2), 253-262.
- Stewart, S.L., Black, R.M., Wolever, T.M.S., Anderson, G.H. (1997). The relationship between the glycaemic response to breakfast cereals and subjective appetite and food intake. *Nutr. Res.*, 17(8), 1249-1260.
- Tharanathan, R.N. (2002). Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Crit Rev Biotechnol.*, 22, 65-84.
- Younes, H.; Demigné, C.; Behr, S.; Révész, C. (1995). Resistant starch exerts a lowering effect on plasma urea by enhancing urea N transfer into the large intestine. *Nutr. Res.*, 15, 1199-1210.
- Zavarini, I; Bonora, E.; Pagliara, M. (1989). Risk factors for coronary artery disease in healthy persons with hyperinsulinaemia and normal glucose tolerance. *N. Engl. J. Med.*, 320, 702-706
- Zhou, X.; Kaplan, M.L. (1997). Soluble amylose cornstarch is more digestible than soluble amylopectin potato starch in rats. *Am Soc Nutr Sci.*, 1349-1356.

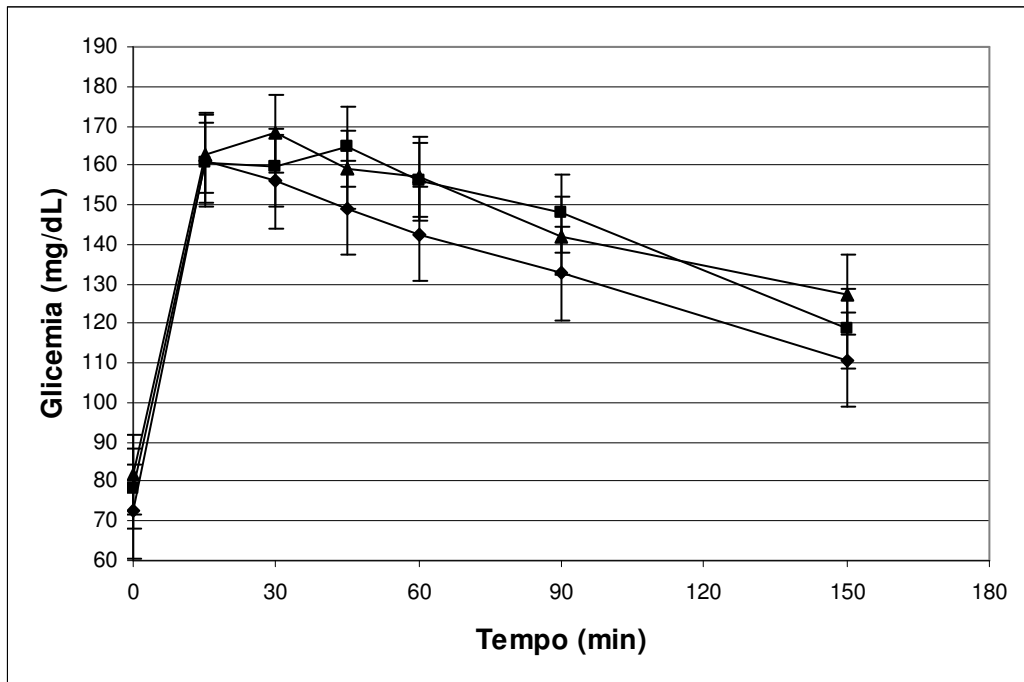


Figura 1. Concentração plasmática pós-prandial de glicose (média±DP) em resposta ao consumo de rações com diferentes proporções amilose:amilopectina. (-♦-) tratamento com alto teor de amilose (IRGA 417), (-■-) tratamento com intermediário teor de amilose (IRGA 416), (-▲-) tratamento com baixo teor de amilose (MOCHI).

Tabela 1. Composição (g/kg) das rações experimentais fornecidas aos ratos

	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Arroz	608,74	596,78	583,24
Caseína	148,24	159,42	163,29
Sacarose	100,0	100,0	100,0
Óleo de soja	66,59	66,41	65,14
Fibra de trigo isolada em detergente neutro	27,45	28,46	38,95
Mix mineral *	35,0	35,0	35,0
Mix vitamínico **	10,0	10,0	10,0
L-Metionina	3,0	3,0	3,0
Bitartarato de colina	2,5	2,5	2,5
TBHQ***	0,014	0,014	0,014
<hr/>			
Amido (%)	52,95	52,95	52,94
Proteína (%)	19,25	19,17	19,18
Lipídios (%)	7,00	7,00	7,00
Fibra (%)	5,00	5,00	5,00
Energia Bruta (Kcal)	3518	3595	3515

* Mix mineral (por kg de mix): Ca 142,94g; P 44,61g; K 102,81g; Na 29,11g; Cl 44,89g; S 8,57g; Mg 14,48g; Fe 1,00g; Zn 0,86g; Si 0,14g; Mn 0,30g; Cu 0,17g; Cr 0,03g; B 14,26mg; F 28,73mg; Ni 14,31mg; Li 2,85mg; Se 4,28mg; I 5,93mg; Mo 4,32mg; V 2,87mg;

** Mix vitamínico (por kg de mix): ácido nicotínico 3,00g; pantotenato de cálcio 1,60g; piridoxina-HCl 0,70g; tiamina-HCl 0,60g; riboflavina 0,60g; ácido fólico 0,20g; biotina 0,02g; vitamina B12 2,50mg; vitamina E 7.500UI; vitamina A 400.000UI; vitamina D3 100.000UI; vitamina K1 0,075g.

*** TBHQ – tercbutilhidroquinona

Tabela 2. Ganho de peso no período, digestibilidade aparente na matéria seca (DA) e consumo médio diário dos animais em resposta ao consumo de rações com níveis diferenciados de amilose:amilopectina

Parâmetros	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Ganho de peso no período (g)	105,68±7,20 ^b	115,88±2,90 ^a	115,35±5,26 ^a
DA (%)	94,13±0,45 ^b	94,66±0,47 ^a	94,63±0,36 ^a
Consumo médio (g)	17,80±0,40 ^b	17,57±0,90 ^b	18,73±0,37 ^a

Resultados expressos como média±desvio padrão.

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste de Duncan a 10% de significância.

Tabela 3. Produção de fezes úmidas (PFU) e secas (PFS), umidade das fezes (UF), pH fecal e excreção de N nas fezes (NF) dos animais em resposta ao consumo de rações com níveis diferenciados de amilose:amilopectina

Parâmetros	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
PFU (g)	1,58±0,08 ^{NS}	1,48±0,22 ^{NS}	1,42±0,14 ^{NS}
PFS (g)	0,91±0,05 ^{NS}	0,88±0,07 ^{NS}	0,92±0,08 ^{NS}
UF (%)	40,77±2,67 ^a	33,92±3,19 ^b	34,16±2,71 ^b
pH fecal	7,00±0,11 ^b	7,30±0,20 ^a	7,10±0,07 ^b
NF (%)	6,34±0,24 ^a	6,04±0,23 ^b	4,15±0,08 ^c

Resultados expressos como média±desvio padrão.

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste de Duncan a 10% de significância.

Tabela 4. Concentração de glicose, triglicerídeos, colesterol total e HDL no jejum, expressos em mg/dL, dos animais em resposta ao consumo de rações com níveis diferenciados de amilose:amilopectina

Parâmetros	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Glicose	174,50±21,96 ^a	141,34±16,38 ^b	150,35±12,30 ^b
Triglicerídeos	71,57±11,18 ^b	77,47±13,22 ^{ab}	87,57±8,46 ^a
Colesterol total	63,67±4,81 ^b	74,01±9,03 ^a	79,06±10,60 ^a
HDL	59,57±4,06 ^{NS}	61,79±7,94 ^{NS}	65,51±7,38 ^{NS}

Resultados expressos como média±desvio padrão.

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste de Duncan a 10% de significância.

Tabela 5. Peso do fígado, pâncreas e gordura epididimal, expressos em g/100g de peso corporal, dos animais em resposta ao consumo de rações com níveis diferenciados de amilose:amilopectina

Parâmetros	IRGA 417	IRGA 416	MOCHI
Fígado	3,65±0,25 ^a	3,53±0,09 ^b	3,72±0,12 ^a
Pâncreas	0,42±0,04 ^b	0,49±0,06 ^a	0,48±0,03 ^a
Gordura epididimal	1,61±0,24 ^{NS}	1,61±0,13 ^{NS}	1,70±0,50 ^{NS}

Resultados expressos como média±desvio padrão.

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste de Duncan a 10% de significância.

3.3. ARTIGO 3

Artigo em fase final de revisão pelos autores para ser submetido à Food Chemistry

EFEITO DO BENEFICIAMENTO DO ARROZ NO DESEMPENHO E RESPOSTA METABÓLICA EM RATOS

Cristiane Casagrande Denardin^{* 1}, Nardeli Bouffleur¹, Patrícia Reckziegel¹, Leila Picolli da Silva².

Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL) e Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário. Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP 97105-900, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do consumo de arroz sob diferentes formas de beneficiamento (branco vs parboilizado) sobre o desempenho e resposta metabólica em ratos. Foram utilizados ratos machos Wistar alimentados com rações experimentais elaboradas com grãos de arroz do cultivar IRGA 417 branco e parboilizado, cozidos, secos em estufa com circulação forçada de ar e moídos. A produção de fezes úmidas e secas, concentração de glicose plasmática no jejum, proteínas totais plasmáticas e peso dos órgãos como fígado, rins e gordura epididimal não foram afetados pelo consumo de arroz branco ou parboilizado. Os animais submetidos ao tratamento com arroz parboilizado apresentaram maior ganho de peso e consumo; menor conversão alimentar; menor pH fecal e maior excreção de nitrogênio nas fezes; menores níveis de albumina e colesterol HDL; maiores concentrações de triglicerídeos e ácido úrico e maior peso do pâncreas do que os animais do tratamento com arroz branco. Os resultados obtidos no presente trabalho permitem concluir que a parboilização pode provocar mudanças estruturais significativas nos constituintes do arroz, levando a variações em diversos parâmetros metabólicos fundamentais para o organismo, como ganho de peso, função intestinal e controle glicêmico.

PALAVRAS-CHAVES: parboilização, metabolismo glicídico, metabolismo protéico

* Autor para correspondência. Tel: + 55 55 3220 8547. Fax: + 55 55 3220 8323. E-mail: cristiane_denardin@yahoo.com.br.

¹ Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL). nardelibou@hotmail.com and patriciar@mail.ufsm.br.

² Departamento de Zootecnia. leilasliva@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

Embora não existam dados estatísticos oficiais, estima-se que por ano, cerca de 170 milhões de toneladas de arroz em casca sejam beneficiadas industrialmente por parboilização em todo o mundo, ou seja, em média, um quinto de toda produção arrozeira mundial (Amato & Elias, 2005). Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Arroz Parboilizado (Abiap), 25% do total de arroz produzido no Brasil é parboilizado, e o seu consumo encontra-se em expansão, representando 20% (1,5 milhões de toneladas) da demanda nacional de arroz (Planeta arroz, 2005; Abiap, 2007).

A parboilização baseia-se no tratamento hidrotérmico no qual o arroz em casca é submetido antes do descascamento, polimento e seleção. Este processo envolve o encharcamento dos grãos e o aquecimento deste arroz úmido (o suficiente para gelatinizar o amido), seguido pelo resfriamento e lenta secagem (Coffman e Juliano, 1987; Marshall e Wadsworth, 1993; Dexter, 1998). Existem cada vez mais evidências de que a grande variação nas respostas glicêmicas obtidas com o consumo de arroz são, em parte, devidas a variações nas propriedades físico-químicas dos cultivares, mas também podem estar muito relacionadas ao tipo de processamento ao quais os grãos são submetidos (Larsen, 2000). De uma maneira geral, acredita-se que a parboilização reduz a resposta glicêmica do arroz, contudo, poucos estudos têm investigado este tópico e os resultados existentes são conflitantes.

Wolever e colaboradores (1986) foram os primeiros a avaliar o efeito da parboilização sobre a resposta glicêmica, ao estudarem duas amostras de arroz comerciais, observaram uma menor resposta glicêmica no arroz parboilizado quando comparado ao não parboilizado (67 vs 83). Mais tarde, Casiraghi et al. (1993) e Urooj & Puttraj (1999), avaliando o efeito do processamento sobre a mesma variedade de arroz e sobre refeições mistas, respectivamente, observaram que a parboilização diminuiu a resposta glicêmica, o que foi atribuído a maior firmeza do arroz parboilizado, que reduziria sua suscetibilidade a hidrólise enzimática no trato gastrointestinal humano. Além disso, Tetens et al. (1997) e Larsen et al. (2000) ao investigarem o efeito da parboilização sobre a digestibilidade do amido de arroz *in vitro* e respostas glicêmicas e insulinêmicas em indivíduos com diabetes tipo 2, concluíram que a redução na taxa de digestão do amido e nas respostas glicêmicas e insulinêmicas, dependem da extensão e severidade do processo de parboilização, respectivamente.

Por outro lado, alguns estudos realizados com humanos a fim de avaliar o efeito do processamento sobre a mesma variedade de arroz em indivíduos normais, não observaram diferença significativa na resposta glicêmica, embora o arroz parboilizado tenha apresentado

resultados levemente menores (Brand Miller et al., 1992; Korach-André et al. 2004). Já Larsen et al (1996), avaliando o efeito da parboilização leve sobre a resposta glicêmica de indivíduos com diabetes não-insulino-dependente, também não observaram diferenças nas respostas glicêmicas. Estes pesquisadores ressaltam que os resultados podem ser influenciados tanto pelas diferenças nas variedades de arroz utilizadas (teores de amilose e temperaturas de gelatinização) como pelo processo de parboilização *per se*.

Neste contexto, devido ao crescente consumo de arroz parboilizado no Brasil e aliado a falta de consenso entre as pesquisas realizadas sobre este tópico, o presente trabalho tem por objetivo comparar o efeito do beneficiamento de parboilização de uma das variedades de arroz mais plantadas e consumidas no País (IRGA 417), sobre o desempenho e resposta metabólica em ratos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Rações experimentais e tratamentos

Este trabalho foi realizado no Núcleo Integrado de Desenvolvimento em Análises Laboratoriais (NIDAL) na UFSM. Foram formuladas duas rações (Tabela 1), de acordo com as recomendações do American Institute of Nutrition (AIN) (Reeves et al., 1993), mediante substituição total do amido de milho, e parcial da caseína, óleo de soja e fibra, por grãos de arroz do cultivar IRGA 417 branco e parboilizado. As amostras de arroz foram obtidas na Estação Experimental do Arroz do IRGA (Cachoeirinha/RS), no ano de 2004.

Para se obter o arroz parboilizado, os grãos na forma bruta (com casca) foram submetidos ao encharcamento (razão massa de grãos:água de 1:1,5) em água aquecida a $65^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, por 300 minutos, e autoclavados a $110^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ (pressão de $0,6\text{ KPa}\pm 0,05\text{ KPa}$), por 10 minutos. Após este processo, as amostras foram secas até atingirem $12\pm 2\%$ de umidade. Os grãos de arroz parboilizado e branco foram descascados e polidos em engenho de provas Suzuki (MT 96), previamente regulado para o cultivar. Na seqüência, os grãos de arroz parboilizado e branco foram cozidos de forma idêntica (método tradicional), secos em estufa com circulação forçada de ar ($45\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas), moídos na mesma granulometria e imediatamente utilizados na elaboração das rações experimentais.

Estas rações foram formuladas com base em resultados prévios de análise bromatológica, a fim de serem isoprotéicas, isolipídicas e isocalóricas, formando os seguintes tratamentos: **BR**; ração formulada com grãos de arroz cozido do cultivar IRGA 417 branco

com 22,95% de amilose; **PARB**; ração formulada com grãos de arroz cozido do cultivar IRGA 417 parboilizado com 23,95% de amilose.

Tabela 1. Composição (g/kg) das rações experimentais fornecidas aos ratos

Ingredientes	BR	PARB
Arroz	608,74	617,85
Caseína	148,24	151,08
Sacarose	100,0	100,0
Óleo de soja	66,59	66,13
Fibra de trigo isolada em detergente neutro	27,45	17,29
Mix mineral *	35,0	35,0
Mix vitamínico **	10,0	10,0
L-Metionina	3,0	3,0
Bitartarato de colina	2,5	2,5
TBHQ	0,014	0,014
Constituintes		
Amido (%)	52,95	52,95
Proteína (%)	19,25	19,24
Lipídios (%)	7,00	7,00
Fibra (%)	5,00	5,00
Energia Bruta (Kcal)	3518	3517

* Mix mineral (por kg de mix): Ca 142,94g; P 44,61g; K 102,81g; Na 29,11g; Cl 44,89g; S 8,57g; Mg 14,48g; Fe 1,00g; Zn 0,86g; Si 0,14g; Mn 0,30g; Cu 0,17g; Cr 0,03g; B 14,26mg; F 28,73mg; Ni 14,31mg; Li 2,85mg; Se 4,28mg; I 5,93mg; Mo 4,32mg; V 2,87mg;

** Mix vitamínico (por kg de mix): ácido nicotínico 3,00g; pantotenato de cálcio 1,60g; piridoxina-HCl 0,70g; tiamina-HCl 0,60g; riboflavina 0,60g; ácido fólico 0,20g; biotina 0,02g; vitamina B12 2,50mg; vitamina E 7.500UI; vitamina A 400.000UI; vitamina D3 100.000UI; vitamina K1 0,075g.

*** TBHQ – tercbutilhidroquinona

Animais experimentais e condução do experimento

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem Estar Animal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) sob protocolo de nº 23081.004118/2007-34. Para realização do experimento, foram utilizados 16 ratos machos (*Rattus norvegicus* Wistar albino F1), provenientes do Biotério Central da UFSM, com peso médio inicial de 59,0±3,9g,

distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos (oito animais/tratamento), e alojados em gaiolas metabólicas individuais, com livre acesso à ração e à água. O período de adaptação dos animais à dieta foi de cinco dias. Na seqüência, teve início o período experimental de 25 dias, no qual, diariamente, foi realizada a determinação da quantidade de ração consumida e a coleta das fezes. O peso corporal dos animais foi obtido a cada três dias. Estes dados e amostras foram coletados a fim de determinar o consumo, ganho de peso, conversão alimentar, produção de fezes úmidas e secas, pH das fezes e excreção de nitrogênio nas fezes.

A partir do quinto dia experimental os animais foram selecionados aleatoriamente a cada dois dias, em grupos de oito (um animal/tratamento), para análise da concentração plasmática pós-prandial de glicose, sendo aqueles submetidos à intervenção, excluídos na seleção seguinte. Após 12h de jejum, os animais receberam 2g de ração que foi totalmente consumida em um prazo de 20 minutos. A glicemia de jejum (antes do consumo da ração) e de 15, 30, 45, 60, 90 e 150 minutos após a ingestão foi determinada por coleta de sangue da veia caudal utilizando-se o aparelho Accu-Chek Active® (Roche). Após a análise da curva glicêmica de todos os animais, um período de dois dias para a recuperação do estresse causado pelo jejum e manuseio foi obedecido, sendo reiniciado o período experimental no 11º dia do ensaio.

No último dia experimental, após jejum de 12h, os animais foram pesados, anestesiados e eutanasiados por punção cardíaca, sendo coletado sangue para posterior quantificação de albumina, ácido úrico, glicose, triglicerídeos, colesterol total e HDL, e proteínas totais. Nesta ocasião, também foram retirados e pesados o fígado, rins, pâncreas e gordura epididimal, para determinação do peso de órgãos.

Durante todo o período do experimento, a temperatura foi mantida a $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ e a luminosidade controlada alternando períodos de 12 horas de luz/escuro.

Métodos analíticos

O teor de amilose das amostras de arroz foi determinado de acordo com a técnica iodométrica (Blue Value), descrita por Gilbert & Spragg (1964).

As determinações de umidade ($105^{\circ}\text{C}/12$ horas) e nitrogênio nas fezes (Micro-Kjeldahl) foram realizadas segundo metodologias descritas pela AOAC (1995). O pH fecal foi determinado em solução de 1g de fezes parcialmente secas ($60^{\circ}\text{C}/48$ horas) em 10mL de água destilada. A conversão alimentar foi determinada como a proporção de alimento consumido necessária para o ganho de 1g de peso corpóreo.

A determinação das análises sanguíneas, albumina, ácido úrico, glicose, colesterol

total e HDL, triglicerídeos e proteínas totais foram realizada com os kits albumina, urato enzimático líquido, glucox 500, colesterol 250 enzimático, colesterol HDL, triglicérides enzimático líquido e proteínas totais Doles®, respectivamente.

O peso dos órgãos, fígado, rins, pâncreas e a gordura epididimal isolada foram calculados como g/100g de peso animal.

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste t a 10% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ganho de peso, consumo e conversão alimentar

Os animais submetidos ao tratamento PARB apresentaram maior ganho de peso e consumo e menor conversão alimentar do que os animais do tratamento BR (Tabela 2). Embora sejam praticamente inexistentes os trabalhos avaliando o efeito do processamento do arroz sobre a resposta metabólica em animais, os resultados obtidos nesta pesquisa podem ser explicados pelas mudanças na forma física e na estrutura interna dos grãos após o processamento hidrotérmico, as quais exercem efeitos marcantes na digestibilidade do arroz.

Tabela 2. Ganho de peso no período, consumo médio diário e conversão alimentar dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco (BR) ou parboilizado (PARB)

Parâmetros	BR	PARB
Ganho de peso no período (g)	105,68±7,20 ^b	124,18±10,97 ^a
Consumo médio (g)	17,80±0,40 ^b	18,78±0,88 ^a
Conversão alimentar	3,25±0,12 ^a	2,93±0,09 ^b

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste T a 10% de significância.

O processo de parboilização consiste de três etapas fundamentais, as quais são resumidas a seguir: o encharcamento tem a finalidade de aplicar certo grau de intumescimento, através da absorção de água, onde os grãos alcançam cerca de 30 a 32% de umidade. Na etapa seguinte, os grãos úmidos são aquecidos até a temperatura de gelatinização

do amido (cerca de 70°C), quando irá ocorrer a reestruturação interna do grão. O amido é gelatinizado e parcialmente retrogradado na seqüência, e as proteínas que constituem a matriz protéica, onde os grânulos de amido estão contidos são parcialmente desnaturadas. Com isso, há expulsão do ar ocluso nos interstícios, simultaneamente com um rearranjo celular que resulta na compactação e agregação de massa, tornando os grãos mais resistentes às ações de fricção e abrasão, que ocorrem nas operações de brunimento e polimento, quando o farelo é retirado (Amato & Elias, 2005). Após a gelatinização, o arroz encontra-se com umidade ao redor de 30%, devendo, portanto, ser novamente levado ao seu estado inicial, por volta de 13% de umidade através do processo de secagem.

Neste breve relato é possível observar que a parbolização, pelo aquecimento em água dos grãos e conseqüente pré-gelatinização, provoca algumas modificações físicas nas cadeias de amido e proteínas o quê, em geral, aumenta a digestibilidade destes nutrientes. Este tipo de processamento rompe toda a estrutura organizada dos constituintes do arroz – amido, proteínas e lipídios. Os grânulos de amido são claramente gelatinizados, perdem sua birrefringência e o típico padrão de difração de raio X tipo A é destruído. Porém, existem diversos estudos mostrando que parte deste amido gelatinizado sofre reassociação após a etapa de secagem, num fenômeno conhecido como retrogradação (Bhattacharya, 1985). Já os corpos protéicos presentes no endosperma amiláceo também são rompidos, sendo que a solubilidade desta proteína é reduzida e o conteúdo de aminoácidos livres é aumentado (Bhattacharya, 1985; Juliano e FAO, 1993).

Sabe-se que a digestibilidade da maioria dos nutrientes (principalmente amido e proteínas) é aumentada quando os alimentos são submetidos a condições que aumentam a suscetibilidade do amido à ação enzimática, ou seja, quando a estrutura granular destes componentes é destruída mecanicamente (através da moagem) ou por aquecimento úmido (gelatinização) (Snow & O’Dea, 1981; Urooj & Puttraj, 1999). Portanto, estes fatos justificam o maior ganho de peso e consumo dos animais que receberam o arroz parboilizado, uma vez que, por ser mais facilmente digerido aumenta o ganho de peso e diminui a saciedade dos animais, com conseqüente aumento no consumo. Além disso, a menor conversão alimentar mostra que a dieta com arroz parboilizado apresentou maior eficiência no ganho de peso, ou seja, uma menor quantidade de alimento precisou ser ingerida para o ganho de 1g de peso corpóreo.

Produção de fezes úmidas e secas, pH e nitrogênio nas fezes

Embora não tenham sido observadas diferenças significativas na produção de fezes úmidas e secas, os animais que consumiram o arroz parboilizado apresentaram menor pH fecal e maior excreção de nitrogênio nas fezes (Tabela 3).

Tabela 3. Produção de fezes úmidas (PFU) e secas (PFS), pH fecal e excreção de nitrogênio nas fezes dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco (BR) ou parboilizado (PARB)

Parâmetro	BR	PARB
PFU (g)	1,58±0,08 ^{NS}	1,64±0,10 ^{NS}
PFS (g)	0,91±0,05 ^{NS}	0,98±0,11 ^{NS}
pH fecal	7,00±0,11 ^a	6,84±0,17 ^b
Nitrogênio nas fezes (%)	6,34±0,24 ^b	7,07±0,18 ^a

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste T a 10% de significância.

Os grânulos de amido de arroz são totalmente gelatinizados durante o processo de parboilização, sendo que parte deste amido gelatinizado pode reassociar-se durante as etapas de resfriamento e secagem, num fenômeno conhecido como retrogradação (Bhattacharya, 1985; Eggum et al., 1993; Tako & Hizukuri, 2000). Existem algumas dúvidas no que diz respeito à natureza das ligações no amido de arroz parboilizado, porém, estudos de difração de raios X mostraram que a parboilização induz a uma mudança no padrão tipo A do arroz cru, para um padrão tipo V, típico de complexos amilose-lipídios, sem nenhuma evidência de retrogradação do amido caracterizada pelo padrão tradicional tipo B. Da mesma forma, recentes estudos realizados por Derycke et al (2005) mostraram que a extensão de retrogradação da amilopectina depende do conteúdo de umidade e da temperatura durante o processo (Ong & Blanshard, 1995), enquanto que a temperatura de gelatinização do amido e as condições hidrotérmicas usadas durante a parboilização determinam o nível e o tipo (amorfo *vs* cristalino) de complexo amilose-lipídio formado. Com isso, estes pesquisadores sugerem que a menor disponibilidade enzimática do arroz parboilizado pode ser um efeito da formação destes complexos amilose-lipídios e da retrogradação da amilose com conseqüente formação de amido resistente.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho podem ser explicados pela formação de amido resistente a digestão no processo de beneficiamento do arroz, o que diminui a

digestibilidade de parte do amido presente nos grãos. Assim, quanto maior o teor de amido resistente na dieta (arroz parboilizado), mais substrato estará disponível para a fermentação, o qual, ao atingir o cólon, será fermentado pela flora bacteriana, resultando na produção de ácidos orgânicos que reduzem o pH e aumentam a excreção de massa bacteriana nas fezes (indiretamente mensurada pelo nitrogênio). Parte destes ácidos é utilizada pelo organismo fornecendo uma importante fonte de energia para o cólon, além de serem responsáveis pela modulação da resposta imune e da flora intestinal (Rombeau, 2004). Estudos epidemiológicos sugerem que alguns ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principalmente butirato e propionato, poderiam reduzir em 25-30% o risco de câncer coloretal potencializando a manutenção da saúde intestinal e reduzindo os fatores de risco envolvidos com o desenvolvimento de inflamações intestinais (Brouns et al., 2002). A outra parte é excretada nas fezes, resultando na redução do pH observada para o tratamento com arroz parboilizado (PARB), o que é desejável para a manutenção do equilíbrio da microbiota intestinal.

O aumento na excreção de nitrogênio também é indicativo de maior atividade fermentativa, como observado no presente estudo para o tratamento com arroz parboilizado (PARB) (Tabela 3). Resultado semelhante foi observado por Younes et al. (1995) e De Schrijver et al. (1999) que, adicionando frações indigestíveis de amido à dieta de ratos, observaram aumento significativo na excreção fecal de nitrogênio, o que geralmente é associado ao desenvolvimento considerável da microflora do ceco (Eggum et al., 1984), visto que a quebra de grandes quantidades de carboidratos aumenta a incorporação de nitrogênio às proteínas bacterianas (Demigné et al., 1980; Younes et al., 1995). O nitrogênio necessário para o crescimento bacteriano ótimo é fornecido pelas proteínas não digeridas no intestino delgado, pelas proteínas endógenas (secreções pancreática e intestinal, células epiteliais descamadas), ou pela uréia sanguínea transferida para o ceco (Younes et al., 1995). Portanto, o aumento na excreção fecal de nitrogênio poderia corresponder a um aumento na excreção fecal de proteínas bacterianas e a uma troca da excreção de nitrogênio da urina para as fezes (Demigné & Rémésy, 1982). Este desvio da excreção de nitrogênio da via renal para a fecal pode auxiliar no controle de doença renal crônica (Younes et al., 1995). Além disso, várias das fontes de nitrogênio utilizadas para o rápido crescimento bacteriano são metabólitos protéicos (fenol, cresol, indol, aminas e amônia) que apresentam efeitos deletérios ao organismo, como desenvolvimento de câncer de pele, bexiga e intestino. Assim, a presença de carboidratos fermentáveis no cólon, atuando como neutralizadores destes metabólitos, diminuem o risco de certos tipos de câncer (Tharanathan, 2002).

Estes resultados, porém, podem parecer contraditórios aqueles discutidos acima, onde foram observados maior ganho de peso e consumo alimentar nos animais submetidos ao tratamento PARB. No entanto, deve-se considerar que apenas uma pequena parcela do amido (cerca de 2,4 a 3,7%) torna-se resistente à digestão após o processo de parboilização do arroz (Eggum et al., 1993); o restante (cerca de 85%) torna-se mais digestível, justificando o maior ganho de peso dos animais submetidos ao tratamento com arroz parboilizado.

Glicemia, análises sanguíneas e peso dos órgãos

Não foram observadas diferenças significativas nas respostas glicêmicas dos animais submetidos a ambos os tratamentos, embora aqueles que consumiram o tratamento com arroz parboilizado (PARB) tenham apresentado uma maior concentração plasmática pós-prandial de glicose dos 60 minutos até o final do experimento, quando comparado com os animais do tratamento com arroz branco (BR) (Figura 1).

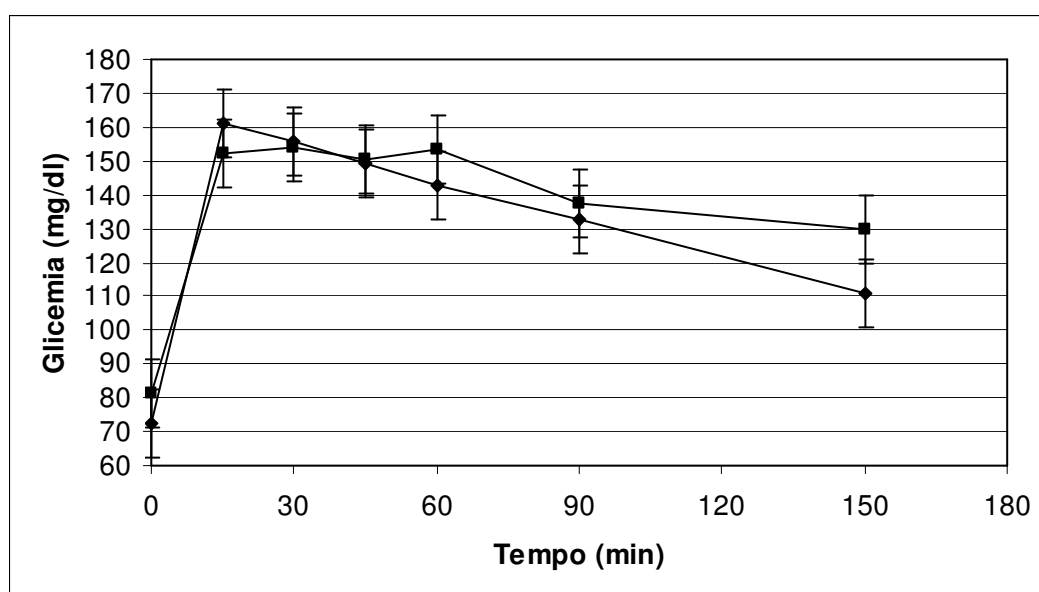


Figura 1. Concentração plasmática pós-prandial de glicose (média±DP) em resposta ao consumo de rações com arroz branco (-♦-) e parboilizado (-■-).

Diversos estudos *in vitro* e *in vivo* indicam que a suscetibilidade a digestão do amido de arroz parboilizado é menor do que a do arroz branco (Casiraghi et al, 1993; Tetens et al. 1997; Urooj & Puttraj, 1999). Da mesma forma, Wolever e colaboradores (1986) ao avaliarem a resposta glicêmica do arroz processado de diferentes formas e cozido por diferentes períodos de tempo em indivíduos diabéticos, observaram que o índice glicêmico de

grãos de arroz branco (83 ± 5) foi significativamente maior do que de grãos de arroz parboilizado (67 ± 5). Além disso, estudo realizado por Larsen et al (2000), avaliando o efeito da influencia da parboilização e da severidade do processo nas respostas glicêmicas e insulinêmicas em indivíduos com diabetes tipo 2, observaram que o processo de parboilização sob pressão reduziu o índice glicêmico em 30% quando comparado com o processo de parboilização tradicional.

Porém, deve-se salientar que a extensão e duração do pico de resposta glicêmica após uma refeição dependem da taxa de absorção do alimento, a qual está relacionada a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, tais como, forma física do alimento, estrutura do amido, tamanho de partícula, processamento (cozimento), tempo de trânsito intestinal entre outros (Björck et al. 1994; Tharanathan, 2002). O arroz pode ser processado e cozido de várias maneiras, o que leva a modificação das propriedades fisicoquímicas e de digestibilidade do amido, e conseqüentemente, da resposta glicêmica do arroz ingerido (Korach-André et al., 2004). Com isso, semelhante ao observado neste trabalho, Korach-André et al. (2004) ao avaliarem a resposta metabólica após a ingestão de arroz branco ou parboilizado em indivíduos saudáveis, não observaram diferenças significativas na concentração plasmática pós-prandial de glicose após 480 min de experimento. Da mesma forma, Brand-Miller et al. (1992) e Larsen et al (1996), ao avaliarem o efeito da parboilização na resposta glicêmica de indivíduos normais e com diabetes tipo 2, respectivamente, também não observaram diferenças significativas nas respostas glicêmicas do arroz parboilizado em relação ao branco, sendo que estes pesquisadores atribuem tais resultados ao teor de amilose dos cultivares utilizados ou ao processo de parboilização *per se*.

Com isso, os resultados obtidos nesta pesquisa podem ser explicados pela maior digestibilidade do amido do arroz parboilizado em relação ao arroz branco, como observado nos resultados de ganho de peso (Tabela 2). Além disso, deve-se ressaltar que todos os resultados *in vivo* de menor resposta glicêmica do arroz parboilizado encontrados na literatura foram realizados com indivíduos diabéticos (Wolever et al., 1986; Larsen et al., 2000), enquanto que os trabalhos que não encontraram diferenças significativas foram realizados com indivíduos normais (Brand-Miller et al. 1992; Korach-André et al., 2004). Segundo Rasmussen & Hermansen (1991), estudos com diabéticos apresentam respostas glicêmicas muito diferentes, mesmo quando refeições idênticas são testadas, e estes resultados podem estar relacionados a regulação metabólica pré-prandial destes indivíduos. Portanto, os resultados conflitantes encontrados na literatura podem ser devido a utilização de indivíduos com diferentes estágios de diabetes, os quais não apresentam uma glicemia pré-prandial

estável e homogênea dentro de um grupo, resultando em diferentes resultados de resposta glicêmica ao alimento ingerido.

Alguns pesquisadores relacionam a elevada concentração de glicose sanguínea como sendo o principal determinante do aumento de colesterol e triglicerídeos sanguíneos, o que influencia na progressão de doenças coronárias e do diabetes tipo 2 (Zavarini et al., 1989). No presente trabalho, embora não significativos, os níveis de colesterol total foram 2% maiores no tratamento que apresentou maior resposta glicêmica (PARB) e os níveis de colesterol HDL foram significativamente reduzidos (Tabela 4). Além disso, observou-se aumento significativo nos níveis de triglicerídeos nos animais alimentados com arroz parboilizado (Tabela 4). Já a concentração plasmática de glicose no jejum não foi afetada pelo processamento do arroz, o que comprova que o efeito na resposta glicêmica pós-prandial está relacionado com a glicemia no jejum, e os animais utilizados neste estudo não apresentaram variações neste parâmetro sanguíneo.

Tabela 4. Concentração de colesterol total e HDL, triglicerídeos, glicose, proteínas totais, albumina e ácido úrico dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco (BR) ou parboilizado (PARB)

Parâmetro	BR	PARB
Colesterol total (mg/dL)	63,67±4,81 ^{NS}	65,98±6,11 ^{NS}
HDL (mg/dL)	61,09±2,53 ^a	52,79±7,19 ^b
Triglicerídeos (mg/dL)	71,57±11,18 ^b	100,88±13,85 ^a
Glicose (mg/dL)	174,50±21,96 ^{NS}	171,66±9,98 ^{NS}
Proteínas totais (g/dL)	5,25±0,54 ^{NS}	5,55±0,39 ^{NS}
Albumina (g/dL)	3,18±0,18 ^a	2,99±0,16 ^b
Ácido úrico (mg/dL)	1,32±0,06 ^b	2,19±0,24 ^a

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste T a 10% de significância.

Embora não existam dados na literatura avaliando o efeito do consumo de arroz parboilizado ou branco sobre parâmetros sanguíneos, os resultados obtidos no presente estudo podem ser explicados pelo maior digestibilidade do arroz parboilizado em relação ao branco. A taxa e a extensão da digestão dos alimentos pode ser influenciada por diversos fatores, como citado acima, porém, o processamento hidrotérmico dos alimentos possui um impacto fundamental na disponibilidade dos nutrientes uma vez que modifica a estrutura dos grânulos

de amido, corpos protéicos e esferossomas lipídicos (Eliasson, 2004). Considerando que o amido é o constituinte majoritário do arroz (cerca de 85%), a maior digestibilidade dos grãos parboilizados está intimamente relacionada a completa gelatinização e perda de birrefringência que ocorre nos grânulos de amido em decorrência do processo de parboilização, o que terá reflexos decisivos sobre alguns parâmetros sanguíneos.

Portanto, alguns dos resultados obtidos no presente estudo podem ser explicados pela relação entre a digestibilidade do amido e seu efeito no metabolismo da glicose no fígado. Ao chegar ao fígado, a glicose oriunda da degradação do amido segue três vias principais: a) transportada para o sangue, a fim de manter sua concentração suficientemente alta para fornecer energia ao cérebro e outros tecidos; b) convertida em glicogênio, armazenado no fígado e nos músculos; c) convertida em ácidos graxos, transportados pelos triglicerídeos (Lenhinger, 2006). O amido proveniente do arroz parboilizado, por ser mais facilmente degradado devido ao fato de estar totalmente gelatinizado, proporciona maior fluxo de glicose para o fígado do que o amido proveniente do arroz branco, em um mesmo período de tempo, o que acarreta em um excesso de glicose no fígado, que será metabolizada a ácidos graxos, os quais serão transportados juntamente com os triglicerídeos e colesterol para serem armazenados no tecido adiposo, resultando em aumento da concentração de triglicerídeos e colesterol no plasma e redução na concentração de colesterol HDL, popularmente conhecido como “colesterol bom”.

Embora os níveis de proteínas totais não tenham sido afetados pelo consumo de arroz branco ou parboilizado, observou-se que os animais submetidos ao tratamento com arroz parboilizado apresentaram menores níveis de albumina e maiores de ácido úrico, comprovando a influência da parboilização do arroz no metabolismo protéico dos animais (Tabela 4).

Os níveis de proteínas totais circulantes refletem o status nutricional e má nutrição dos animais, os quais também são facilmente detectados pelo teor de albumina circulante, uma vez que esta corresponde aproximadamente 2/3 da proteína total (Oloyede et al. 2004). Este fato, aliado aos resultados de concentração de ácido úrico plasmático comprovam que a dieta formulada com arroz parboilizado apresentou deficiências nutricionais relacionadas à qualidade protéica. Sabe-se que o processo de parboilização do arroz pode provocar algumas modificações físicas nas cadeias protéicas, como desnaturação parcial e redução na solubilidade, uma vez que a matriz protéica que contém os grânulos de amido no endosperma dos grãos de arroz torna-se uma massa compacta após o processo de parboilização (Bhattacharya, 1985; Amato & Elias, 2005). Com isso, a digestibilidade desta proteína pode

ser aumentada e algumas deficiências em aminoácidos podem tornar-se mais evidentes ao metabolismo protéico do organismo. Segundo Bhattacharya (1985), o conteúdo protéico do arroz não muda em decorrência do processo de parboilização, embora o teor de alguns aminoácidos livres aumente, enquanto outros apresentem uma pequena (lisina) ou considerável (triptofano e metionina) queda na disponibilidade.

As variações nos níveis plasmáticos de ácido úrico são decorrentes da síntese e degradação de purinas, ou seja, do catabolismo de nucleotídeos e síntese *de novo* de purinas, da ingestão de purinas na dieta e da eficiência na função renal. Porém, vários estudos têm demonstrado que a quantidade e qualidade das proteínas presentes na dieta também podem afetar a produção de ácido úrico, através de alterações na atividade de enzimas específicas (principalmente xantina oxidase), concentração de substratos (aminoácidos) e regulação das reações envolvidas no catabolismo das purinas (Litwack et al., 1952; Muramatsu & Ashida, 1962; Bowering et al. 1969; Clifford et al. 1972).

Portanto, devido ao fato de as dietas serem isoprotéicas, os resultados de ácido úrico observados neste trabalho podem ser explicados pela menor qualidade protéica do arroz parboilizado em relação ao arroz branco (Tabela 4). Estudo realizado por Saleh e colaboradores (1985) avaliando a qualidade nutricional de três proteínas oriundas de algas em ratos, concluíram que devido a deficiência de alguns aminoácidos, comprovada pelo baixo quociente de eficiência protéica (PER – 1,9 a 2,1), o conteúdo de ácido úrico plasmático dos animais alimentados com proteínas de algas foi significativamente maior do que a dieta com caseína. Da mesma forma, Cioccia et al. (1993) e Vilela et al. (2000) demonstraram que a elevação dos níveis de ácido úrico no plasma está fortemente correlacionada com os métodos tradicionais de avaliação de qualidade das proteínas, como PER e NPR (quociente de eficiência protéica), em ratos. No estudo realizado por Vilela e colaboradores (2000), a concentração de ácido úrico plasmático dos animais aumentou de 1,74 mg/dl (controle de caseína) para valores na faixa de 2,1 a 2,4 com a utilização de levedura na dieta, a qual possuía menor qualidade protéica.

Além disso, como aminoácidos livres não podem ser armazenados no organismo humano, as proteínas de menor qualidade, que apresentam deficiências em aminoácidos essenciais, serão preferencialmente destinadas a vias metabólicas de catálise. Após a degradação das proteínas ingeridas em seus aminoácidos no trato gastrointestinal, estes alcançam o fígado através da corrente sanguínea. Chegando ao fígado, o primeiro passo no catabolismo dos aminoácidos é a remoção dos grupos amido através da ação de transaminases, resultando na formação de glutamato, que transporta os grupos amino para

vias biossintéticas ou de excreção, e unidades de três e quatro átomos de carbonos, os α -cetoácidos. Estes esqueletos carbônicos provenientes da desaminação dos aminoácidos serão convertidos em glicose pela gliconeogênese, a qual poderá ser utilizada para suprir as necessidades energéticas das células ou ser armazenada na forma de ácidos graxos através do metabolismo hepático (Lehninger, 2006). A elevação nos níveis de ácido úrico, aliada ao aumento na concentração de triglicerídeos e colesterol total sanguíneos presentes nos animais submetidos à dieta com arroz parboilizado (Tabela 4), suporta esta hipótese, comprovando que a parboilização aumenta a digestibilidade e reduz a qualidade protéica do arroz.

O consumo de arroz branco ou parboilizado também influenciou o tamanho do pâncreas dos animais, sendo significativamente maior no tratamento com arroz parboilizado, enquanto que o peso do fígado, rins e gordura epididimal não foram afetados pela dieta (Tabela 5). Não foram encontrados trabalhos na literatura avaliando o peso de órgãos em resposta ao consumo de arroz branco ou parboilizado em animais e humanos.

O pâncreas é o principal órgão responsável por produzir, armazenar e secretar hormônios e enzimas responsáveis pela digestão e regulação dos níveis de glicose sanguínea (insulina e glucagon). Imediatamente após uma refeição, a glicose sanguínea elevada induz a produção e liberação de insulina pelas células β pancreáticas, o que estimula a degradação (glicólise) ou armazenamento (tecido adiposo e músculos) da glicose em excesso. Depois de algumas horas de jejum, como no período entre as refeições, a redução no nível de glicose sanguínea desencadeia a liberação de glucagon pelo pâncreas, provocando uma estimulação na degradação do glicogênio hepático, ativando a gliconeogênese e a oxidação dos lipídios do tecido adiposo, os quais irão fornecer glicose para a corrente sanguínea (Lehninger, 2006).

Tabela 5. Peso do fígado, rins, pâncreas e gordura epididimal, expressos em g/100g de peso corporal, dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco (BR) ou parboilizado (PARB)

	BR	PARB
Pâncreas	0,42±0,04 ^b	0,47±0,05 ^a
Fígado	3,65±0,24 ^{NS}	3,53±0,07 ^{NS}
Rins	0,73±0,02 ^{NS}	0,72±0,04 ^{NS}
Gordura epididimal	1,47±0,15 ^{NS}	1,35±0,10 ^{NS}

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste T a 10% de significância.

Neste contexto, o aumento no peso do pâncreas dos animais submetidos ao tratamento PARB pode ser explicado pelo aumento da atividade metabólica neste órgão, uma vez que o arroz parboilizado produziu uma rápida e constante elevação na glicose pós-prandial (Figura 1), o que exigiria uma maior produção de insulina no pâncreas, a fim de regular esta concentração elevada de glicose sanguínea. Portanto, devido a esta maior exigência de insulina pelo metabolismo, o pâncreas pode apresentar uma hipertrofia e/ou maior acúmulo destes hormônios, o que justifica o maior peso do órgão. Além disso, Pawlak e colaboradores (2004), ao avaliarem o efeito de dietas de alta e baixa resposta glicêmica sobre o metabolismo glicêmico e lipídico em ratos, observaram que as ilhotas pancreáticas dos animais submetidos à dieta com alta resposta glicêmica apresentaram uma maior proporção de células β anormais, com severa desorganização na arquitetura e extensa fibrose, o que também poderá acarretar em aumento no tamanho do órgão.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e discutidos no presente trabalho permitem concluir que a parboilização pode provocar mudanças estruturais nos constituintes dos grãos de arroz, afetando significativamente alguns parâmetros relacionados ao metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, como ganho de peso, consumo, pH fecal, excreção de nitrogênio nas fezes, concentração pós-prandial de glicose, colesterol HDL, triglicerídeos, albumina, ácido úrico e peso do pâncreas. Desta forma, a escolha do tipo de arroz a ser incluído na dieta deve considerar as necessidades nutricionais específicas de cada grupo populacional.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) pelo fornecimento das amostras e auxílio financeiro, a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de mestrado, e a empresa Doles, pela doação dos *kits* para análises de parâmetros sanguíneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIAP. **Associação Brasileira das Indústrias de Arroz Parboilizado**. Capturado em 18 dez. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://www.abiap.com.br>.

AOAC (1995). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 16th ed., Washington, DC.

- Amato, G.W.; Elias, M.C. (2005). *A parboilização do arroz*. Porto Alegre: Ricardo Lenz. 160p.
- Bhattacharya, K. (1985). Parboiling of rice. In: Juliano, B.O., ed. *Rice Chemistry and Technology*. 2nd ed. (pp. 289-348). St Paul, MN: American Association Of Cereal Chemists.
- Björck, I.; Granfeldt, Y.; Liljeberg, H.; Tovar, J.; Asp, N. (1994). Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am. J. Clin. Nutr.*, 59(suppl):699S-705S.
- Bowering, J.; Calloway, D.H.; Sheldon, M.; Kaufmann, N.A. (1969). Dietary protein level and uric acid metabolism in normal man. *J. Nutr.*, 100: 249-261.
- Brand-Miller, J.; Pang, E.; Bramall, L. (1992). Rice: a high or low glycemic index food? *Am. J. Clin. Nutr.*, 56, 1034-1036.
- Brouns, F., Kettlitz, B., Arrigoni, E. (2002). Resistant starch and “the butyrate revolution”. *Trends Food Sci. Tech.*, 13, 251-261.
- Casiraghi, M.C.; Brighenti, F.; Pellegrini, N.; Leopardi, E.; Testolin, G. (1993). Effects of processing on rice starch digestibility evaluated by in vivo and in vitro methods. *J. Cereal Sci.*, 17, 147-156.
- Cioccia, V.P.; Brito, A.M.; Hevia, P. (1993). Hepatic purine enzymes and uric acid excretion as indicators of protein quality in chicks fed graded L-lysine diets. *J. Sci. Food. Agric.* 62(4), 369-374.
- Clifford, A.J.; Riumallo, J.A.; Baliga, B.S.; Munro, H.N.; Brown, P.R. (1972). Liver nucleotide metabolism in relation to amino acid supply. *BBA – Protein Struct. M.*, 277(3), 443-458.
- Coffman, W.R.; Juliano, B.O. (1987). Rice. In: Olson, R.A.; Frey, K.J. *Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement*. Madison: American Society of Agronomy, cap.5, p. 101-131.
- Demigné, C.; Rémésy, C.; Rayssiguier, Y. (1980). Effect of fermentable carbohydrates in volatile fatty acids, ammonia and mineral absorption in the rat caecum. *Reprod. Nutr. Dev.* 20, 1351-1359.

Demigné, C.; Rémésy, C. (1982). Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. *J. Nutr.*, 112, 2227-2234.

De Schrijver, R.; Vanhoof, K.; Vande Ginste, J. (1999). Nutrient utilization in rats and pigs fed enzyme resistant starch. *Nutr. Res.*, 19, 1349-1361.

Derycke, V.; Vandeputte, G.E.; Vermeulen, R.; De Man, W.; Goderis, B.; Koch, M.H.J.; Delcour, J.A. (2005). Starch gelatinization and amylose-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. *J. Cereal Sci.*, 42, 334-343.

Dexter, P. B. (1998). *Rice fortification for developing countries*. Department of Food Science, University of Arkansas – Fayetteville. August. Disponível em: <http://www.mostproject.org/rice4.pdf>. Acesso em: 22 set, 2004.

Eggum, B.O.; Beames, R.M.; Wolstrup, J.; Bach Knudsen, K.E. (1984). The effect of protein quality and fibre level in the diet and microbial activity in the digestive tract on protein utilization and energy digestibility in rats. *Br. J. Nutr.*, 51, 305-314.

Eggum, B.O. Juliano, B.O.; Perez, C.M.; Acedo, E.F. (1993). The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. *J. Cereal Sci.*, 18, 159-170.

Eliasson, A. (2004) *Starch in food – Structure, function and applications*. North America: CRC Press LLC.

Gilbert, G.A.; Spragg, S.P. (1964). *Iodine Sorption: “Blue Value”*. In: Whistler, R.L. et al. *Methods in Carbohydrate Chemistry: volume IV – starch*. London: Academic Press. p.168-169.

Juliano, B.O.; FAO. (1993) *Rice in Human Nutrition*. FAO, Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/t0567e/t0567e00.htm>. Acesso em 13 fev. 1993.

Korach-André, M.; Roth, H.; Barnoud, D.; Péan, M.; Péronnet, F.; Leverve, X. (2004). Glucose appearance in the peripheral circulation and liver glucose output in men after a large ¹³C starch meal. *Am. J. Clin. Nutr.*, 80, 881-886.

Larsen, H.N.; Christensen, C.; Rasmussen, O.W.; Tetens, I.H.; Choudhury, N.H.; Thilsted, S.H.; Hermansen, K. (1996). Influence of parboiling and physico-chemical characteristics of rice on the glycaemic index in non-insulin-dependent diabetic subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 50(1), 22-27.

Larsen, H.N.; Rasmussen, O.W.; Rasmussen, P.H.; Alstrup, K.K.; Biswas, S.K.; Tetens, I.; Thilsted, S.H.; Hermansen, K. (2000). Glycaemic index of parboiled rice depend on the severity of processing: study in type 2 diabetic subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 54, 380-385.

Lehninger Al, Nelson Dl & Cox Mm (2006) *Princípios de Bioquímica*. Traduzido por Arnaldo Antônio Simões, Wilson Roberto Navega Lodi. 2ª Ed. São Paulo: SARVIER.

Litwack, G.; Williams, J.N.; Chen, L.J.; Elvehjem, C.A. (1952). A study of the relationship of liver xantine oxidase to quality of dietary protein. *J. Nutr.*, 47, 299-206.

Marshall, W. E.; Wadsworth, J. I. (1993). *Rice Science and Technology*. New Orleans, Louisiana. 470p.

Muramatsu, K. & Ashida, K. (1962). Effect of dietary protein level on growth and liver enzyme activities of rats. *J. Nutr.*, 76, 143-150.

Oloyede, O.B.; Otunola, G.A.; Apata, D.F. (2004). Assessment of protein quality of processed melon seed as a component of poultry feed. *Biokemistri*, 16(2),80-87.

Ong, M. H.; Blanshard, J. M. V. (1995). Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. *J. Cereal Chem.*, 21, 251-260.

Pawlak, D.B., Kushner, J.A., Ludwig, D.S. (2004). Effects of dietary glycaemic index on adiposity, glucose homoeostasis, and plasma lipids in animals. *Lancet*, 364, 778-785.

Planeta Arroz. (2005). *Parboilizado é popular*. ano 5, edição 15; agosto, pg 34. Online. Disponível na Internet: <http://www.planetaarroz.com.br>.

Rasmussen, O. & Hermansen, K. (1991). Preprandial blood glucose values and glyceimic responses in insulin-dependent diabetes mellitus at constant insulinemia. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53, 520-523.

Reeves, P.G.; Nielsen, F.H.; Fahey Jr., G.C. (1993). AIN-93 purified diets for laboratory

rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *J. Nutr.*, 23, 1939-51.

Rombeau, J.L. (2004). Investigations of short-chain fatty acids in humans. *Clin. Nutr. Supplements*, 1, 19-23.

Saleh, A.M.; Hussein, L.A.; Abdalla, F.E.; El-Fouly, M.M.; Shaheen, A.B. (1985). The nutritional quality of drum-dried algae produced in open door mass culture. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft*, 24(4), 256-263.

Snow, P.; & O'dea, K. (1981). Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 2721-2727.

Tako, M.; Hizukuri, S. (2000). Retyrogradation mechanism of rice starch. *Cereal Chem.*, 77(4), 473-477.

Tetens, I.; Biswast, S.K.; Glitso, L.V.; Kabir, K.A.; Thilsted, S.H.; Choudhury, N.H. (1997). Physico-chemical characteristics as indicators of starch availability from milled rice. *J. Cereal Sci.*, 26, 355-361.

Tharanathan, R.N. (2002). Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. *Crit Rev Biotechnol*, 22, 65-84.

Urooj, A. & Puttraj, Sh. (1999). Digestibility index and factors affecting rate of starch digestion in vitro in conventional food preparation. *Starch/Stärke*, 51, 430-435.

Vilela, E.S.D.; Sgarbieri, V.C.; Alvim, I.D. (2000). Determinação do valor protéico de células íntegras, autolisado total e extrato de levedura (*Saccharomyces* sp.). *Revista de Nutrição*, 13(3), 185-192.

Wolever, T.M.S.; Jenkins, D.J.A.; Kalmusky, J.; Jenkins, A.; Giordano, C.; Giudici, S.; Josse, R.G.; Wong, G.S. (1986). Comparison of regular and parboiled rices: explanation of discrepancies between reported glycemic responses to rice. *Nutr. Res.*, 6(4), 349-357.

Younes, H.; Demigné, C.; Behr, S.; Rémésy, C. (1995). Resistant starch exerts a lowering effect on plasma urea by enhancing urea N transfer into the large intestine. *Nutr. Res*, 15, 1199-1210.

Zavarini, I; Bonora, E.; Pagliara, M. (1989). Risk factors for coronary artery disease in healthy persons with hyperinsulinaemia and normal glucose tolerance. *N Engl J Med.*, 320, 702-706.

3.4. ARTIGO 4

Artigo em fase final de revisão pelos autores para ser submetido à Revista Ciência Rural

INFLUÊNCIA DO CONSUMO DE ARROZ OU DE MACARRÃO NO DESEMPENHO E RESPOSTA METABÓLICA EM RATOS

Cristiane Casagrande Denardin^{1*}, Nardeli Bouffleur¹, Patrícia Reckziegel¹, Leila Picolli da
Silva².

Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL) e Departamento de Zootecnia, Centro de
Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário. Bairro Camobi, Santa Maria, RS,
CEP 97105-900, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar o efeito do consumo de dietas elaboradas com arroz branco IRGA 417 e macarrão tipo espaguete sobre o desempenho e resposta metabólica em ratos. Foram utilizados ratos machos Wistar alimentados com rações experimentais isocalóricas e isoprotéicas, compostas dos respectivos ingredientes como principal fonte energética. O ganho de peso, consumo, concentração plasmática de albumina, proteínas totais e gordura epididimal não foram afetados pelo consumo de arroz ou macarrão. Os animais submetidos ao tratamento com macarrão apresentaram menor produção de fezes úmidas e secas, nitrogênio nas fezes e colesterol HDL, e maior digestibilidade da matéria seca, concentração plasmática de ácido úrico, colesterol total, peso dos rins e pâncreas do que os animais alimentados com arroz.

PALAVRAS-CHAVE: alimentos amiláceos, efeitos metabólicos, ratos

INTRODUÇÃO:

O arroz (*Oryza sativa* L.) ainda é o cereal mais utilizado na dieta dos brasileiros (25Kg/habitante/ano), fornecendo aproximadamente 12% das proteínas e 18% das calorias da dieta básica nacional. Porém, diversos estudos têm demonstrado uma redução de cerca de 13,5% no consumo de arroz no país da década de 80 até os dias atuais. Esta redução é devida,

^{1*} Autor para correspondência. Tel: + 55 55 3220 8547. Fax: + 55 55 3220 8323. E-mail: cristiane_denardin@yahoo.com.br.

¹ Departamento de Tecnologia e Ciência de Alimentos (NIDAL). nardelibou@hotmail.com and patriciar@mail.ufsm.br. ² Departamento de Zootecnia. leilasilva@yahoo.com.br.

principalmente, a mudança no estilo de vida da sociedade moderna, onde cada vez mais mulheres ingressam no mercado de trabalho, o que, associado a menor oferta de mão-de-obra doméstica, ou mesmo impossibilidade de acomodar tal despesa no orçamento doméstico, leva a dona de casa, que necessita ganhar tempo na cozinha, a optar por pratos de preparo rápido, em detrimento do tradicional arroz com feijão (Arroz em Foco, 2005; Embrapa Arroz e Feijão, 2005).

Já o macarrão, é o principal alimento amiláceo que compete com o arroz na mesa da população brasileira, com consumo crescente que hoje corresponde a 5,6 Kg por pessoa/ano. O Brasil é o terceiro maior consumidor de massas do mundo e produz mais de 1,3 milhões de toneladas por ano. Porém, embora o macarrão seja um alimento nutritivo, saboroso, de fácil preparo e amplamente consumido no país, seu preço, embora ainda acessível, está intimamente relacionado ao preço mundial do trigo, o principal ingrediente na fabricação da farinha de trigo, base do macarrão (Abima, 2007). Atualmente, o Brasil importa metade do trigo consumido no País (10 milhões de toneladas), e a perspectiva é que o consumo interno de trigo cresça em média, 2,2% ao ano, alcançando a cifra de 13,9 milhões de toneladas em 2016/17 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007).

Segundo dados da Abima (2007), o macarrão está inserido no grupo dos carboidratos complexos, apresentando um índice glicêmico entre baixo e moderado, sendo sua ingestão recomendada na alimentação escolar e hospitalar. Além disso, estudo realizado com crianças obesas e normais em idade escolar demonstrou que o consumo de macarrão proporcionou maior saciedade e menor consumo alimentar na refeição subsequente quando comparado a batata cozida (Alvina & Araya, 2004).

Porém, em termos de valor nutricional, este alimento é deficitário, uma vez que se destaca pela sua riqueza em carboidratos (cerca de 75%) em detrimento a quantidade e qualidade de proteínas (cerca de 12,35% de proteína, sendo 0,74mg% de lisina e 0,35mg% de metionina) (Nicoletti, 2007). Já a mistura de cereais e leguminosas, como no caso do arroz (6-15% de proteína) e feijão (20,1-27,9% de proteína), podem fornecer ao organismo um bom aporte de aminoácidos através da complementação das proteínas (Marchini et al. 1994; Embrapa Arroz e Feijão, 2007; Nutrinet, 2007). Embora o arroz seja deficiente em lisina (3,4-4,2g/16,8g de N), é boa fonte de triptofano (1,3-1,8g/16,8g de N) e metionina (2,3-3,0g/16,8g de N), já o feijão, apresenta pouca proporção de triptofano (0,56-0,94g%) e metionina (0,80-1,39g%) e grande quantidade de lisina (7,22-9,22g%), sendo que a proporção de 3 porções de arroz para 1 porção de feijão garante uma síntese protéica adequada para a manutenção de um organismo saudável (Juliano, 1985; Sgarbieri & Whitaker, 1982; Cyberdiet, 2007). Além

disso, existem indícios de que o consumo crescente de macarrão, em detrimento ao tradicional arroz com feijão, seria uma das principais causas do aumento da incidência de desnutrição protéica e obesidade adulta e infantil, principalmente nas populações carentes.

Portanto, devido a falta de trabalhos nesta área e visando esclarecer melhor os efeitos metabólicos decorrentes do crescente consumo de macarrão em detrimento do arroz, uma vez que estes alimentos amiláceos são as principais fontes energéticas da maioria da população brasileira, o objetivo deste trabalho foi comparar o efeito do consumo de dietas elaboradas com arroz branco de uma das variedades mais plantadas e consumidas no País (IRGA 417) e macarrão tipo espaguete sobre o desempenho e resposta metabólica em ratos.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Rações experimentais e tratamentos

Este trabalho foi realizado no Núcleo Integrado de Desenvolvimento em Análises Laboratoriais (NIDAL) na UFSM. Foram formuladas duas rações isonutritivas (Tabela 1), de acordo com as recomendações do American Institute of Nutrition (AIN) (Reeves et al., 1993), mediante substituição total do amido de milho, e parcial da caseína, óleo de soja e fibra, por grãos de arroz do cultivar IRGA 417 branco e macarrão tipo espaguete com ovos (Marca Isabela) cozidos e secos em estufa com circulação forçada de ar ($50\pm 5^{\circ}\text{C}/48\text{h}$). A amostra de arroz foi obtida na Estação Experimental do Arroz do IRGA (Cachoeirinha/RS) e o macarrão, no mercado local. Estas rações formaram os seguintes tratamentos: **IRGA 417**; ração formulada com 60,87% de grãos de arroz cozido do cultivar IRGA 417 (22,95% de amilose); **MACARRÃO**; ração formulada com 62,64% de macarrão tipo espaguete cozido (13,94% de amilose).

Animais experimentais e condução do experimento

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Bem Estar Animal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) sob protocolo de nº 23081.004118/2007-34. Para realização do experimento, foram utilizados 16 ratos machos (*Rattus norvegicus*) Wistar albino F1, provenientes do Biotério Central da UFSM, com peso médio de ($59,0\pm 5,2\text{g}$), distribuídos aleatoriamente entre os tratamentos (oito animais/tratamento), e alojados em gaiolas metabólicas individuais, com livre acesso à ração e à água. O período de adaptação dos animais à dieta foi de cinco dias. Na seqüência, teve início o período experimental de 25 dias, no qual, diariamente, foi realizada a determinação da quantidade de ração consumida e a

coleta das fezes. O peso corporal dos animais foi obtido a cada três dias. Estes dados e amostras foram coletados a fim de determinar o consumo, ganho de peso, digestibilidade aparente da matéria seca, produção de fezes úmidas e secas, digestibilidade aparente da proteína, pH das fezes e excreção de nitrogênio nas fezes.

Tabela 1. Composição (g/kg) das rações experimentais fornecidas aos ratos

Ingredientes	IRGA 417	MACARRÃO
Arroz	608,74	---
Macarrão	---	626,44
Caseína	148,24	131,15
Sacarose	100,0	100,0
Óleo de soja	66,59	65,71
Fibra de trigo isolada em detergente neutro	27,45	30,20
Mix mineral *	35,0	35,0
Mix vitamínico **	10,0	10,0
L-Metionina	3,0	3,0
Bitartarato de colina	2,5	2,5
TBHQ***	0,014	0,014
Constituintes		
Amido (%)	52,95	52,95
Proteína (%)	19,25	19,34
Lipídios (%)	7,00	7,00
Fibra (%)	5,00	5,00
Energia Bruta (Kcal)	3518	3521

* Mix mineral (por kg de mix): Ca 142,94g; P 44,61g; K 102,81g; Na 29,11g; Cl 44,89g; S 8,57g; Mg 14,48g; Fe 1,00g; Zn 0,86g; Si 0,14g; Mn 0,30g; Cu 0,17g; Cr 0,03g; B 14,26mg; F 28,73mg; Ni 14,31mg; Li 2,85mg; Se 4,28mg; I 5,93mg; Mo 4,32mg; V 2,87mg;

** Mix vitamínico (por kg de mix): ácido nicotínico 3,00g; pantotenato de cálcio 1,60g; piridoxina-HCl 0,70g; tiamina-HCl 0,60g; riboflavina 0,60g; ácido fólico 0,20g; biotina 0,02g; vitamina B12 2,50mg; vitamina E 7.500UI; vitamina A 400.000UI; vitamina D3 100.000UI; vitamina K1 0,075g.

*** TBHQ – tercbutilhidroquinona

A partir do quinto dia experimental os animais foram selecionados aleatoriamente a cada dois dias, em grupos de oito (um animal/tratamento), para análise da concentração plasmática pós-prandial de glicose, sendo aqueles submetidos à intervenção, excluídos na

seleção seguinte. Após 12h de jejum, os animais receberam 2g de ração que foi totalmente consumida em um prazo de 20 minutos. A glicemia de jejum (antes do consumo da ração) e de 15, 30, 45, 60, 90 e 150 minutos após a ingestão foi determinada por coleta de sangue da veia caudal utilizando-se o aparelho Accu-Chek Active® (Roche). Após a análise da curva glicêmica de todos os animais, um período de dois dias para a recuperação do estresse causado pelo jejum e manuseio foi obedecido, sendo reiniciado o período experimental no 11º dia do ensaio.

No último dia experimental, após jejum de 12h, os animais foram pesados, anestesiados e eutanasiados por punção cardíaca, sendo coletado sangue para posterior quantificação de albumina, ácido úrico, glicose, colesterol total e HDL, triglicerídeos e proteínas totais. Nesta ocasião, também foram retirados e pesados o pâncreas, rins e gordura epididimal, para determinação do peso de órgãos.

Durante todo o período do experimento, a temperatura foi mantida a $21\pm 1^\circ\text{C}$ e a luminosidade controlada alternando períodos de 12 horas de luz/escuro.

Métodos analíticos

As determinações de umidade ($105^\circ\text{C}/12$ horas) e nitrogênio nas fezes (Micro-Kjeldahl) foram realizadas segundo metodologias descritas pela AOAC (1995). O pH fecal foi determinado em solução de 1g de fezes parcialmente secas ($60^\circ\text{C}/48$ horas) em 10mL de água destilada.

A digestibilidade aparente da matéria seca (DA) e digestibilidade aparente da proteína (DAP) foram determinadas como a proporção de alimento ou proteína consumido não recuperado nas fezes.

A determinação das análises sanguíneas, albumina, ácido úrico, glicose, colesterol total e HDL, triglicerídeos e proteínas totais foram realizada com os kits albumina, urato enzimático líquido, glucox 500, colesterol 250 enzimático, colesterol HDL, triglicérides enzimático líquido e proteínas totais Doles, respectivamente.

O peso dos órgãos, pâncreas rins e a gordura epididimal isolada foram calculados como g/100g de peso animal.

Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste t a 10% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Consumo, ganho de peso e DA

Não foram observadas diferenças significativas no ganho de peso e consumo dos animais submetidos a ambos os tratamentos (Tabela 2), embora os resultados tenham demonstrado um valor numérico 10% superior no ganho de peso dos animais alimentados com o macarrão.

Tabela 2. Ganho de peso no período, consumo médio diário e digestibilidade aparente da matéria seca (DA) dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco ou macarrão

Parâmetros	IRGA 417	MACARRÃO
Ganho de peso (g)	105,68±7,20 ^{NS}	115,30±14,63 ^{NS}
Consumo médio (g)	17,80±0,40 ^{NS}	17,79±1,09 ^{NS}
DA (%)	94,13±0,45 ^b	94,66±0,48 ^a

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste t a 10% de significância.

Este aumento no ganho de peso dos animais alimentados com macarrão pode ser explicado devido a maior digestibilidade aparente da matéria seca (DA) no tratamento com macarrão (Tabela 2). Estudo realizado por Aarathi et al. (2003), avaliando a digestibilidade *in vitro* de diferentes amidos de cereais, concluiu que o amido de trigo possui menor índice de digestibilidade (57%) do que o amido de arroz (66%). Já estudos de digestibilidade baseados em análises de amido nas fezes têm demonstrado uma digestão quase completa (99,9%) do amido em cultivares de arroz ceroso e não ceroso cru e cozido, em ratos e humanos (Eggum et al., 1993). Entretanto, devido ao fato das dietas serem isoprotéicas, isolipídicas e isocalóricas, a diferença de digestibilidade e, conseqüentemente de ganho de peso, observada no presente estudo pode ser explicada pelas diferenças físicas e químicas dos grânulos de amido de trigo e arroz.

Na elaboração das massas alimentícias, como o espaguete, os grãos de trigo são moídos para a fabricação da farinha, a qual será utilizada na elaboração do macarrão. Neste processo, a estrutura do grão de trigo é rompida, aumentando a disponibilidade do amido e outros componentes presentes no grão. Já o arroz, é um alimento consumido praticamente inteiro, ou seja, sem rompimento do endosperma amiláceo dos grãos, o que dificulta o acesso

das enzimas digestivas após a ingestão. Além disso, a disposição estrutural dos corpos protéicos presentes ao redor dos grânulos de amido de trigo podem aumentar a disponibilidade deste amido em relação ao amido de arroz. O endosperma dos grãos de trigo é caracterizado por células repletas de grânulos de amido rodeadas por uma matriz protéica. Já o arroz, apresenta grânulos de amido compostos, ou seja, grânulos grandes compostos por muitos grânulos pequenos, onde cada grânulo está envolto por uma matriz protéica (Hoseney, 1991). Desta forma, os grânulos do amido de arroz terão uma maior superfície protéica, o que irá reduzir a suscetibilidade do amido ao ataque das enzimas digestivas do trato gastrintestinal.

A digestibilidade destes cereais também depende da natureza do amido presente nos grãos, ou seja, da configuração molecular entre amilose e amilopectina. A amilose, por possuir uma cadeia essencialmente linear, apresenta-se mais compactada no grânulo, o que dificulta o acesso das enzimas digestivas, ao contrário do que ocorre com a molécula da amilopectina que, por possuir cadeia ramificada, permite maior acesso das enzimas digestivas. Desta forma, a amilose não é totalmente digerida pelas enzimas no trato gastrintestinal, sendo parte dela excretada nas fezes (Goddard et al., 1984; Behall et al., 1988), levando a menor DA observada no tratamento IRGA 417, que apresenta maior teor de amilose do que o macarrão.

Produção de fezes úmidas e secas, DAP, pH e nitrogênio nas fezes

Os animais submetidos à dieta com arroz apresentaram maior produção de fezes úmidas e secas, maior conteúdo de nitrogênio nas fezes e menor digestibilidade aparente da proteína do que os animais alimentados com macarrão (Tabela 3). Esta maior produção de fezes no tratamento IRGA 417, assim como o resultado de DAP, confirma a menor digestibilidade do arroz pelas enzimas do trato gastrintestinal, quanto comparado ao macarrão. Portanto, esta resposta pode ser atribuída à menor digestibilidade da proteína e ao maior teor de amilose do amido de arroz, os quais irão alcançar o cólon onde serão fermentados pela microbiota intestinal.

Estudos demonstram que a elevação no consumo de carboidratos lentamente digestíveis ou/e indigestíveis resulta em maior atividade microbiana no trato gastrointestinal, em especial das acidolíticas, causando aumento na excreção de massa microbiana, a qual pode representar uma porcentagem significativa da produção fecal (Eastwood, 1992; Wenk, 2001). Este aumento na produção de fezes é importante para prevenir constipação e hemorróidas, assim como, para fornecer substrato ao crescimento bacteriano, o que aumenta a produção e

concentração de produtos potencialmente protetores, enquanto dilui a produção e concentração de compostos potencialmente tóxicos (Baghurst et al., 1996).

Esta menor digestibilidade e o aumento na atividade microbiana também são demonstrados pelo aumento na excreção de nitrogênio e redução, embora não significativa, do pH fecal, observados nos animais alimentados com arroz (IRGA 417) (Tabela 3).

Tabela 3. Produção de fezes úmidas (PFU) e secas (PFS), digestibilidade aparente da proteína (DAP), pH fecal e excreção de nitrogênio nas fezes dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco ou macarrão

Parâmetros	IRGA 417	MACARRÃO
PFU (g)	1,57±0,08 ^a	1,44±0,05 ^b
PFS (g)	0,91±0,05 ^a	0,86±0,06 ^b
DAP (%)	87,96±1,05 ^b	91,67±0,76 ^a
pH fecal	6,88±0,37 ^{NS}	6,96±0,16 ^{NS}
Nitrogênio nas fezes (%)	6,34±0,24 ^a	4,79±0,13 ^b

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste t a 10% de significância.

O aumento na excreção de nitrogênio é indicativo de maior atividade fermentativa como observado no presente estudo para o tratamento com arroz (IRGA 417) (Tabela 3). Resultado semelhante foi observado por Younes et al. (1995) e De Schrijver et al. (1999) que, adicionando frações indigestíveis de amido à dieta de ratos, observaram aumento significativo na excreção fecal de nitrogênio, o quê geralmente é associado ao desenvolvimento considerável da microflora do ceco (Eggum et al., 1984), visto que a quebra de grandes quantidades de carboidratos aumenta a incorporação de nitrogênio às proteínas bacterianas (Younes et al., 1995). O nitrogênio necessário para o crescimento bacteriano ótimo é fornecido pelas proteínas não digeridas no intestino delgado, pelas proteínas endógenas (secreções pancreática e intestinal, células epiteliais descamadas), ou pela uréia sanguínea transferida para o ceco (Younes et al., 1995). Portanto, o aumento na excreção fecal de nitrogênio poderia corresponder a um aumento na excreção fecal de proteínas bacterianas e a uma troca da excreção de nitrogênio da urina para as fezes (Demigné & Rémésy, 1982). Este desvio da excreção de nitrogênio da via renal para a fecal pode auxiliar no controle de doença renal crônica (Younes et al., 1995). Além disso, várias das fontes de nitrogênio utilizadas para o rápido crescimento bacteriano são metabólitos protéicos (fenol, cresol, indol, aminas e

amônia) que apresentam efeitos deletérios ao organismo, como desenvolvimento de câncer de pele, bexiga e intestino. Assim, a presença de carboidratos fermentáveis no cólon, atuando como neutralizadores destes metabólitos, diminuem o risco de certos tipos de câncer (Tharanathan, 2002).

Além disso, quanto maior o teor de amilose na dieta, mais substrato estará disponível para fermentação, o qual, ao atingir o cólon, é fermentado pela flora bacteriana, resultando na produção de ácidos orgânicos. Parte destes ácidos é utilizada pelo organismo fornecendo uma importante fonte de energia para o cólon, além de serem responsáveis pela modulação da resposta imune e da flora intestinal (Rombeau, 2004). Estudos epidemiológicos sugerem que alguns ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), principalmente butirato e propionato, poderiam reduzir em 25-30% o risco de câncer coloretal potencializando a manutenção da saúde intestinal e reduzindo os fatores de risco envolvidos com o desenvolvimento de inflamações intestinais (Rombeau, 2004). A outra parte é excretada nas fezes, resultando na redução do pH, que embora não significativa, foi observada para o tratamento com arroz (IRGA 417), o que é desejável para a manutenção do equilíbrio da microbiota intestinal.

Glicemia, análises sanguíneas e peso dos órgãos

Embora as respostas glicêmicas aos 15 e 30 min tenham sido maiores nos animais submetidos ao tratamento com arroz (IRGA 417), o tratamento com macarrão apresentou maior concentração plasmática pós-prandial de glicose nos demais pontos da curva, mantendo a glicemia acima de 130mg/dl até o final do experimento (Figura 1).

A extensão e duração do pico de resposta glicêmica após uma refeição dependem da taxa de absorção do alimento, a qual está relacionada a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, tais como, forma física do alimento, estrutura do amido, tamanho de partícula, processamento (cozimento), tempo de trânsito intestinal entre outros (Björck et al., 1994; Tharanathan, 2002). Estudo realizado por Carreira et al. (2004), avaliando o efeito do armazenamento sobre a resposta glicêmica de alimentos amiláceos brasileiros, conclui que o macarrão é um alimento com baixa resposta glicêmica quando comparado a outros alimentos processados. Ele atribuiu este fato ao comportamento diferente do amido de trigo em relação ao arroz, milho e batata, em resposta ao cozimento e processamento. Além disso, segundo estes pesquisadores, diferentes tipos de massas alimentícias, com variados formatos, espessuras, conteúdos de proteína e formas de cozimento, também podem apresentar variados efeitos metabólicos no organismo humano.

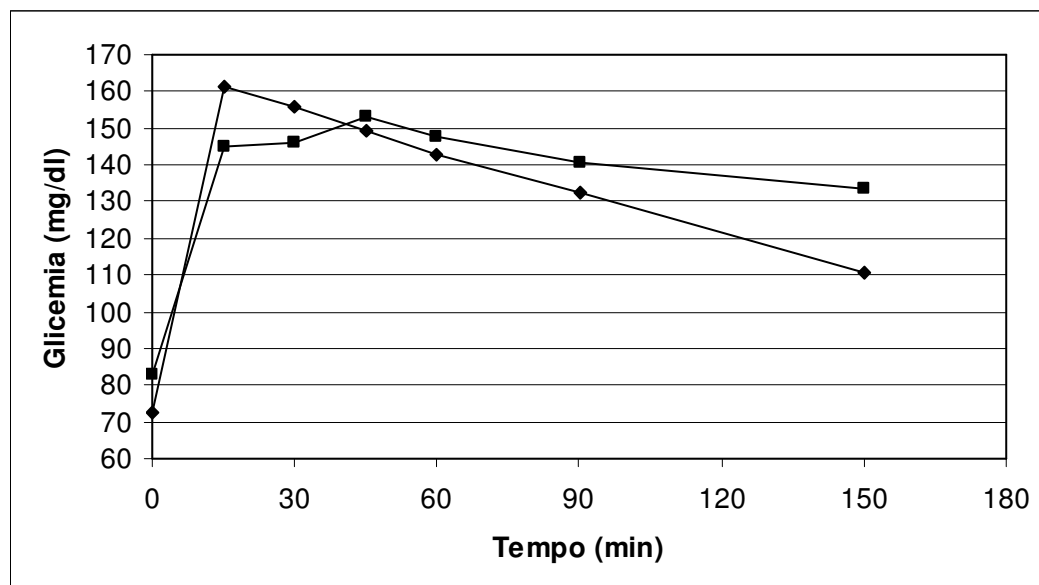


Figura 1. Concentração plasmática pós-prandial de glicose (Média±DP) em resposta ao consumo de rações com arroz (IRGA 417) (-◆-) e macarrão (-■-).

Porém, diversos estudos avaliando a resposta glicêmica de alimentos amiláceos têm destacado a importância da estrutura do amido, ou seja, da proporção amilose:amilopectina na taxa de hidrólise e absorção do amido *in vitro* e *in vivo* (Aarathi et al., 2003; Denardin et al., 2007). Kabir et al. (1998), ao avaliarem o efeito do teor de amilose na resposta glicêmica em ratos, observaram que o consumo de uma dieta rica em amilose por três semanas reduziu a concentração plasmática pós-prandial de glicose, a transformação de glicose em lipídios e o peso da gordura epididimal dos animais. De forma semelhante, Goddard et al. (1984) e Brand Miller et al. (1992), ao avaliarem o efeito de teores crescentes de amilose em cultivares de arroz sobre a resposta glicêmica em humanos, também observaram que os teores de amilose estão diretamente relacionados à resposta glicêmica e insulinêmica nos indivíduos.

Portanto, a maior concentração plasmática pós-prandial de glicose nos animais alimentados com macarrão (Figura 1) pode ser explicada pela diferença na proporção de amilose:amilopectina dos alimentos estudados. Embora não significativa, a menor resposta glicêmica observada para o tratamento com arroz (IRGA 417), que possui 9% mais amilose que o macarrão, comprova a digestibilidade mais lenta da amilose quando comparada à amilopectina, o que é de extrema relevância especialmente para indivíduos diabéticos, que necessitam manter regulares os níveis de glicose no sangue. Segundo Kopp (2006), alimentos que produzem uma alta resposta glicêmica estariam intimamente relacionados à diversos efeitos deletérios como produção de hiperinsulinemia pós-prandial, disfunção ou desregulação

das células β pancreáticas provocando resistência à insulina, obesidade, aterosclerose entre outras doenças crônicas da sociedade moderna.

Alguns pesquisadores relacionam a elevada concentração de glicose sanguínea como sendo o principal determinante do aumento de colesterol e triglicerídeos sanguíneos, o que influencia na progressão de doenças coronárias e do diabetes tipo 2 (Zavarini et al., 1989). No presente trabalho, os níveis de colesterol total foram maiores no tratamento que apresentou maior resposta glicêmica (macarrão) e os níveis de colesterol HDL foram reduzidos (Tabela 4). Além disso, embora não significativo estatisticamente, observou-se um aumento de 8% nos níveis de triglicerídeos nos animais alimentados com macarrão (Tabela 4).

Tabela 4. Concentração de triglicerídeos, colesterol total e HDL, glicose, albumina, proteínas totais e ácido úrico em resposta ao consumo de rações com arroz branco ou macarrão

Parâmetros	IRGA 417	MACARRÃO
Triglicerídeos (mg/dL)	71,57±11,18 ^{NS}	79,96±8,55 ^{NS}
Colesterol total (mg/dL)	63,67±4,81 ^b	72,93±11,13 ^a
HDL (mg/dL)	59,57±4,06 ^a	52,26±6,94 ^b
Glicose (mg/dL)	174,50±21,96 ^a	144,48±10,25 ^b
Albumina (g/dL)	3,18±0,18 ^{NS}	3,16±0,10 ^{NS}
Proteínas totais (g/dL)	5,25±0,54 ^{NS}	5,35±0,54 ^{NS}
Ácido úrico (mg/dL)	1,32±0,06 ^b	1,60±0,15 ^a

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste t a 10% de significância.

Embora não existam dados na literatura informando o efeito do consumo de macarrão ou arroz sobre parâmetros sanguíneos, os resultados obtidos no presente estudo podem ser explicados pelo maior teor de amilose presente no amido de arroz. Pesquisas realizadas por Behall et al. (1988), avaliando o efeito de dietas com 30% e 70% de amilose em humanos, observaram decréscimo significativo nos triglicerídeos, insulina e colesterol total após o consumo de uma dieta rica em amilose, quando comparada com uma dieta rica em amilopectina. Estas pesquisas concluíram que o uso de uma dieta rica em amilose pode ser benéfico para indivíduos que apresentam intolerância a uma dieta com carboidrato padrão e para indivíduos obesos e diabéticos que apresentam elevada glicose e insulina sanguínea e aparente resistência à insulina.

Além disso, estas diferenças podem ser explicadas pela relação entre a digestibilidade das frações do amido e seu efeito no metabolismo da glicose no fígado. Ao chegar ao fígado, a glicose oriunda da degradação do amido segue três vias principais: a) transportada para o sangue, a fim de manter sua concentração suficientemente alta para fornecer energia ao cérebro e outros tecidos; b) convertida em glicogênio, armazenado no fígado e nos músculos; c) convertida em ácidos graxos, transportados pelos triglicerídeos (Lenhinger, 2006). A amilopectina, por ser mais facilmente degradada, proporciona maior fluxo de glicose para o fígado do que a amilose, em um mesmo período de tempo, o que acarreta em um excesso de glicose no fígado, que será metabolizada a ácidos graxos, os quais serão transportados juntamente com os triglicerídeos e colesterol para serem armazenados no tecido adiposo, resultando em aumento da concentração de triglicerídeos e colesterol no plasma e redução na concentração de colesterol HDL, popularmente conhecido como “colesterol bom”.

Torna-se importante ressaltar, no entanto que, ao contrário do esperado, a concentração de glicose sanguínea no jejum dos animais submetidos ao tratamento com macarrão foi menor, quando comparada com os animais do tratamento IRGA 417 (Tabela 4). A manutenção da concentração de glicose sanguínea durante o jejum é principalmente de responsabilidade do fígado, o qual fornece glicose para todos os tecidos do corpo através da quebra de suas reservas de glicogênio ou pela síntese de glicose a partir de precursores gliconeogênicos, eventos estes mediados pela ação de dois hormônios, a insulina e o glucagon. Em espécies animais em que a taxa basal de *turnover* de glicose é maior do que em humanos, por exemplo, em cães (3,6 mg/min/Kg) e ratos (7,2 mg/min/Kg), a capacidade limitada do fígado de armazenar glicogênio confere um aumento no papel da gliconeogênese para a manutenção da glicemia basal. Quando os estoques de glicogênio são esgotados, existe uma pequena redução na concentração de glicose sanguínea que leva a redução na secreção de insulina pancreática e estimula a liberação de glucagon. A resultante hipoinsulinemia ativa a liberação de gordura do tecido adiposo, aumentando os níveis de ácidos graxos livres no plasma, os quais fornecem energia para a gliconeogênese (DeFronzo & Ferrannini, 1995).

Segundo Benton (2002), o consumo freqüente e em grande quantidade de alimentos amiláceos têm gerado eventos de hipoglicemia várias horas após a refeição. Este quadro, também conhecido como hipoglicemia reativa ou hipoglicemia espontânea estimulada por alimentos, pode ser gerado pelos altos níveis de insulina liberados por um período prolongado após a refeição, que ao longo do tempo, pode causar uma queda muito acentuada nos níveis de glicose sanguínea. A hipoglicemia no jejum ocorre mais freqüentemente em pacientes que utilizam insulina no tratamento do *diabetes mellitus*. Porém, várias outras desordens também

estão associadas com a hipoglicemia, como insulinoma, deficiências endócrinas, hipoglicemia reativa pós-prandial e desordens metabólicas inerentes (Eliasson, 2004).

Embora os níveis plasmáticos de albumina e proteínas totais não tenham sido afetados pelo consumo de arroz (IRGA 417) ou macarrão, observou-se que o ácido úrico plasmático foi significativamente maior para o tratamento com macarrão (Tabela 4). Os níveis de proteínas totais circulantes (albumina e demais proteínas) refletem o status nutricional e má nutrição dos animais, os quais também são facilmente detectados pelo teor de albumina circulante, uma vez que esta corresponde aproximadamente 2/3 da proteína total (Oloyede et al., 2004). Este fato, aliado aos resultados de consumo e ganho de peso, comprovam que ambas as dietas foram nutricionalmente adequadas, permitindo o adequado crescimento e desenvolvimento dos animais.

O ácido úrico é o produto final do metabolismo das purinas, sendo formado principalmente no fígado pelo catabolismo de proteínas endógenas e exógenas, onde os nucleotídeos, adenina e guanina, serão convertidos em um intermediário comum, a xantina. A adenina é transformada em hipoxantina, a qual é oxidada a xantina pela enzima xantina oxidase. Já a guanina é desaminada, com o grupo amino liberado como amônia, produzindo xantina. Se este processo ocorrer em tecidos extra-hepáticos, a amônia livre será transportada para o fígado como glutamina para ser excretada pelo ciclo da uréia. A xantina resultante de ambas reações é oxidada pelo oxigênio através da ação da enzima xantina oxidase produzindo peróxido de hidrogênio, que é degradado pela catalase, e ácido úrico, que será excretado pelos rins na urina (Lenhinger, 2006).

Nos seres humanos, o ácido úrico é o produto final desta reação, porém, muitos mamíferos, aves, répteis e peixes possuem no fígado a enzima urato oxidase (uricase) que promove a oxidação do ácido úrico a alantóina, um produto 80 a 100 vezes mais solúvel nos líquidos corporais e facilmente excretada pela via renal. Com isso, estes animais apresentam níveis mais baixos de ácido úrico circulante. Por outro lado, a taxa de ácido úrico no organismo humano deve ser mantida abaixo do limite de solubilidade dos uratos (cerca de 6,8mg%), uma vez que acima deste limite pode ocorrer precipitação nos líquidos corporais, principalmente no líquido sinovial presente nas articulações, provocando a artrite úrica, popularmente conhecida como “Gota”(Busato, 2007).

As variações nos níveis plasmáticos de ácido úrico são principalmente decorrentes da síntese e degradação de purinas, ou seja, do catabolismo de nucleotídeos e síntese *de novo* de purinas, da ingestão de purinas na dieta e da eficiência na função renal. Porém, vários estudos têm demonstrado que a quantidade e qualidade das proteínas presentes na dieta também

podem afetar a produção de ácido úrico, através de alterações na atividade de enzimas específicas (principalmente xantina oxidase), concentração de substratos (aminoácidos) e regulação das reações envolvidas no catabolismo das purinas (Litwack et al., 1952; Muramatsu & Ashida, 1962; Bowering et al., 1969; Clifford et al., 1972).

Portanto, devido ao fato de as dietas serem isoprotéicas, os resultados de ácido úrico observados neste trabalho podem ser explicados pela menor qualidade protéica do macarrão em relação ao arroz (Tabela 4). Estudo realizado por Saleh e colaboradores (1985) avaliando a qualidade nutricional de três proteínas oriundas de algas em ratos, concluíram que devido a deficiência de alguns aminoácidos, comprovada pelo baixo quociente de eficiência protéica (PER – 1,9 a 2,1), o conteúdo de ácido úrico plasmático dos animais alimentados com proteínas de algas foi significativamente maior do que a dieta com caseína. Da mesma forma, Cioccia et al. (1993) e Vilela et al. (2000) demonstraram que a elevação dos níveis de ácido úrico no plasma está fortemente correlacionada com os métodos tradicionais de avaliação de qualidade das proteínas, como PER e NPR (quociente de eficiência protéica), em ratos. No estudo realizado por Vilela e colaboradores (2000), a concentração de ácido úrico plasmático dos animais aumentou de 1,74 mg/dl (controle de caseína) para valores na faixa de 2,1 a 2,4 (dietas com levedura).

Além disso, como aminoácidos livres não podem ser armazenados no organismo humano, as proteínas de menor qualidade, que apresentam deficiências em aminoácidos essenciais, serão preferencialmente destinadas a vias metabólicas de catálise. Após a degradação das proteínas ingeridas em seus aminoácidos no trato gastrointestinal, estes alcançam o fígado através da corrente sanguínea. Chegando ao fígado, o primeiro passo no catabolismo dos aminoácidos é a remoção dos grupos amido através da ação de transaminases, resultando na formação de glutamato, que transporta os grupos amino para vias biossintéticas ou de excreção, e unidades de três e quatro átomos de carbonos, os α -cetoácidos. Estes esqueletos carbônicos provenientes da desaminação dos aminoácidos serão convertidos em glicose pela gliconeogênese, a qual poderá ser utilizada para suprir as necessidades energéticas das células ou ser armazenada na forma de ácidos graxos através do metabolismo hepático (Lehninger, 2006). Esta hipótese pode ser comprovada pela maior concentração de triglicerídeos e colesterol total sanguíneos presentes nos animais submetidos à dieta com macarrão (Tabela 4). Além disso, observa-se uma redução significativa no colesterol HDL, popularmente conhecido como “colesterol bom”, nos animais alimentados com macarrão, comprovando que além da maior digestibilidade, este também apresenta uma qualidade protéica inferior ao arroz.

O consumo de arroz ou macarrão também influenciou o tamanho dos rins e pâncreas dos animais, sendo significativamente maior no tratamento com macarrão, enquanto que a gordura epididimal não foi afetada (Tabela 5). Semelhante ao observado neste trabalho, Caligari e colaboradores (2006) avaliando a qualidade nutricional de uma nova fonte de proteína de leguminosa (*Lupinus albus*) em comparação a lactoalbumina e caseína em ratos, observaram que, embora os níveis de ácido úrico plasmáticos não tenham sido afetados pela dieta, o peso relativo dos rins foi significativamente maior (13%) para os animais que ingeriram a leguminosa em relação ao grupo controle com caseína. Estes pesquisadores atribuíram estes resultados a menor qualidade protéica desta leguminosa, o que resultou em uma maior excreção de nitrogênio pela urina, promovendo o aumento nestes órgãos.

Tabela 5. Peso dos rins, pâncreas e gordura epididimal, expressos em g/100g de peso corporal, dos animais em resposta ao consumo de rações com arroz branco ou macarrão

Parâmetros	IRGA 417	MACARRÃO
Rins	0,72±0,02 ^b	0,75±0,03 ^a
Pâncreas	0,42±0,04 ^b	0,49±0,07 ^a
Gordura epididimal	1,61±0,24 ^{NS}	1,56±0,12 ^{NS}

Médias seguidas de letras distintas, na linha, diferem significativamente pelo teste t a 10% de significância.

O sistema renal é o principal responsável pela excreção de compostos nitrogenados na forma de uréia e ácido úrico, sendo que a excreção renal de uratos é um processo complexo que envolve filtração glomerular, seguida de reabsorção quase total, secreção ativa nos túbulos e reabsorção após secreção. Cerca de 2/3 do ácido úrico formado por dia é excretado pelo rim e 1/3 via trato gastrintestinal (Nuki, 2006). Portanto, o maior peso dos rins observado nos animais alimentados com macarrão, reforça a menor qualidade protéica deste alimento, uma vez que mais ácido úrico foi formado proveniente do catabolismo dos aminoácidos, provocando uma hipertrofia e/ou acúmulo de uratos no sistema renal.

Não foram encontrados trabalhos avaliando o peso de órgãos como pâncreas e gordura epididimal em resposta ao consumo de macarrão ou arroz em animais e humanos.

O pâncreas é o principal órgão responsável por produzir, armazenar e secretar hormônios e enzimas responsáveis pela digestão e regulação dos níveis de glicose sanguínea (insulina e glucagon). Imediatamente após uma refeição, a glicose sanguínea elevada induz a produção e liberação de insulina pelas células β pancreáticas, o que estimula a degradação

(glicólise) ou armazenamento (tecido adiposo e músculos) da glicose em excesso. Depois de algumas horas de jejum, como no período entre as refeições, a redução no nível de glicose sanguínea desencadeia a liberação de glucagon pelo pâncreas, provocando uma estimulação na degradação do glicogênio hepático, ativando a gliconeogênese e a oxidação dos lipídios do tecido adiposo, os quais irão fornecer glicose para a corrente sanguínea (Lehninger, 2006).

Com isso, este aumento no peso do pâncreas dos animais submetidos ao tratamento com macarrão pode ser explicado pelo aumento da atividade metabólica neste órgão, uma vez que o macarrão produziu uma rápida e constante elevação na glicose pós-prandial (Figura 1), o que exigiria uma maior produção de insulina no pâncreas, a fim de regular esta concentração elevada de glicose sanguínea. Portanto, devido a esta maior exigência de insulina pelo metabolismo, o pâncreas pode apresentar uma hipertrofia e/ou maior acúmulo destes hormônios, o que justifica o maior peso do órgão. Além disso, Pawlak e colaboradores (2004), ao avaliarem o efeito de dietas de alta e baixa resposta glicêmica sobre o metabolismo glicêmico e lipídico em ratos, observaram que as ilhotas pancreáticas dos animais submetidos à dieta com alta resposta glicêmica apresentaram maior proporção de células β anormais, com severa desorganização na arquitetura e extensa fibrose, o que poderia acarretar em aumento no tamanho do órgão.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e discutidos neste estudo permitem concluir que o consumo de macarrão afeta negativa e significativamente alguns parâmetros relacionados ao metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, influenciando no ganho de peso, constituição das fezes, concentração plasmática de glicose, ácido úrico, colesterol total e HDL, tamanho dos rins e pâncreas.

Desta forma, o crescente consumo de macarrão em detrimento do arroz pela população brasileira poderia estar relacionado com o aumento na incidência de desnutrição protéica e obesidade adulta e infantil, além de agravar o quadro clínico de pacientes com hiperuricemia.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA) pelo fornecimento das amostras e auxílio financeiro, a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro na forma de bolsa de mestrado, e a empresa Doles, pela doação dos *kits* para análises de parâmetros sanguíneos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16th ed., Supplement 1998. Washington: AOAC, 1995. 1018p.

AARATHI, A.; UROOJ, A.; PUTTARAJ, S. In vitro starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. **Starch/Stärke**, 55, 94-99, 2003.

ABIMA. **Associação Brasileira das Indústrias de Massas alimentícias**. Capturado em 23 out. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://www.abima.com.br>.

ALVINA, M., ARAYA, H. Rapid Carbohydrate digestion rate produced lesser short-term satiety in obese preschool children. **Eur. J. Clin. Nutr.**, 58, 637-642, 2004.

ARROZ EM FOCO. **Estudo caracteriza o consumo de arroz no Brasil**. Site Arroz Brasileiro, 01 ago. 2005. Capturado em 23 out. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://www.arroz.agr.br/site/arrozemfoco/050801.php>.

BAGHURST, P.A.; BAGHURST, K.I.; RECORD, S.J. Dietary fibre, non-starch polysaccharides and resistant starch – a review. **Food Aust.**, 48, S3-S35, 1996.

BEHALL, K.M.; SCHOLFIELD, D.J.; CANARY, J. Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. **Am. J. Clin. Nutr.**, 47, 428-32, 1988.

BENTON, D. Carbohydrate ingestion, blood glucose and mood. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, 26, 293-308, 2002.

BJÖRCK, I.; GRANFELDT, Y.; LILJEBERG, H.; TOVAR, J.; ASP, N. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **Am. J. Clin. Nutr.**, 59(suppl), 699S-705S, 1994.

BOWERING, J.; CALLOWAY, D.H.; SHELDON, M.; KAUFMANN, N.A. Dietary protein level and uric acid metabolism in normal man. **J. Nutr.**, 100, 249-261, 1969.

BRAND-MILLER, J.; PANG, E.; BRAMALL, L. Rice: a high or low glycemic index food? **Am. J. Clin. Nutr.**, 56, 1034-1036, 1992.

BUSATO, O. Ácido úrico. Capturado em 10 dez. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://www.absdasaude.com.br/artigo.php?7>.

CALIGARI, S.; CHIESA, G.; JOHNSON, S.K.; CAMISASSI, D.; GILIO, D.; MARCHESI, M.; PAROLINI, C.; RUBIO, L.A.; SIRTORI, C.R. Lupin (*Lupinus albus*) protein isolate (L-ISO) has adequate nutritional value and reduces large intestinal weight in rats after restricted and ad libitum feeding. **Annals of Nutrition & Metabolism**, 50, 528-537, 2006.

CARREIRA, M.C.; LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. Glycemic index: Effect of food storage under low temperature. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 47(4), 569-574, 2004.

CIOCCIA, V.P.; BRITO, A.M.; HEVIA, P. Hepatic purine enzymes and uric acid excretion as indicators of protein quality in chicks fed graded L-lysine diets. **J. Sci. Food. Agric.**, 62(4), 369-374, 1993.

CLIFFORD, A.J.; RIUMALLO, J.A.; BALIGA, B.S.; MUNRO, H.N.; BROWN, P.R. Liver nucleotide metabolism in relation to amino acid supply. **BBA – Protein Struct. M.**, 277(3), 443-458, 1972.

CYBERDIET. **Arroz e feijão, um par perfeito!** Milena Lima. Colunas. Capturado em 9 dez. 2007. Online. Disponível na Internet: http://www1.uol.com.br/cyberdiet/colunas/050926_nut_arroz_feijao.htm.

DEFRONZO, R.A.; FERRANNINI, E. Regulation of intermediary metabolism during fasting and feeding. In: De Groot, L.J.; Besser, G.M.; Cahill, G.F.Jr.; Marshall, J.C.; Nelson, D.H.; Odell, W.D.; Potts, J.T.Jr.; Rubenstein, A.H.; Steinberger, E. (eds). **Endocrinology**, 3rd ed., W.B. Saunders, Philadelphia, 1995, Chapter 81, p.1389-1410, vol 2.

DEMIGNÉ, C.; RÉMÉSY, C. Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. **J. Nutr.**, 112, 2227-2234, 1982.

DENARDIN, C.C.; WALTER, M.; SILVA, L.P.; SOUTO, G.D.; FAGUNDES, C.A.A. Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats. **Food Chem.** 105, 1474-1479, 2007.

DE SCHRIJVER, R.; VANHOOF, K.; VANDE GINSTE, J. Nutrient utilization in rats and pigs fed enzyme resistant starch. **Nutr. Res.**, 19, 1349-1361, 1999.

EASTWOOD, M.A. The physiological effect of dietary fiber: an update. **Annu. Rev. Nutr.**, 12, 19-35, 1992.

EGGUM, B.O. JULIANO, B.O.; PEREZ, C.M.; ACEDO, E.F. The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. **J. Cereal Sci.**, 18, 159-170, 1993.

EGGUM, B.O.; BEAMES, R.M.; WOLSTRUP, J.; BACH KNUDSEN, K.E. The effect of protein quality and fibre level in the diet and microbial activity in the digestive tract on protein utilization and energy digestibility in rats. **Br. J. Nutr.**, 51, 305-314, 1984.

ELIASSON, A. **Starch in food – Structure, function and applications**. North America: CRC Press LLC, 2004.

Embrapa Arroz e Feijão. **Peculiaridades do consumo de arroz no Brasil**. 28 out. 2005. Capturado em 23 out. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://www.cnpaf.embrapa.br/eventosenoticias/anteriores/antior2005/051028.htm>.

Embrapa Arroz e Feijão. **O feijão na alimentação/nutrição do brasileiro: ontem e amanhã**. Prof. Dr. José Eduardo Dutra de Oliveira. Capturado em 9 dez. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://www.cnpaf.embrapa.br/conafe/pdf/palestra13.pdf>.

GODDARD, M.S.; YOUNG, G.; MARCUS, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **Am. J. Clin. Nutr.**, 39, 388-392, 1984.

HOSENEY, R.C. **Principios de ciencia y tecnologia de los cereals**. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (Espana)1991, 321p.

JULIANO, BO. Polysaccharides, proteins and lipids of rice. In: Juliano, BO. **Rice: chemistry and technology**. The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, 1985. Cap. 3, p. 59-174.

KABIR, M.; Rizkalla, S.W.; Champ, M.; Luo, J.; Boillot, J.; Bruzzo, F.; Slama, G. Dietary amylose-amylopectin starch content affects glucose and lipid metabolism in adipocytes of normal and diabetic rats. **J. Nutr.**, 128, 35-43, 1998.

KOPP, W. The atherogenic potential of dietary carbohydrate. **Preventive Medicine**, 42, p.336-342, 2006.

LEHNINGER, A.L; NELSON, D.L. & COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. Traduzido por Arnaldo Antônio Simões, Wilson Roberto Navega Lodi. 2ª Ed. São Paulo: SARVIER, 2006.

LITWACK, G.; WILLIAMS, J.N.; CHEN, L.J.; ELVEHJEM, C.A. A study of the relationship of liver xantine oxidase to quality of dietary protein. **J. Nutr.**, 47, 299-206, 1952.

MARCHINI, J.S.; PODRIGUES, M.M.P.; CUNHA, S.F.C.; FAUSTO, M.A.; VANNUCCHI, H.; OLIVEIRA, J.E.D. Cálculo das recomendações de ingestão protéica: aplicação a pré-escolar, escolar e adulto utilizando alimentos brasileiros. **Ver. Saúde Pública**, 28 (2), 146-52, 1994.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – Assessoria de Gestão Estratégica. **PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO: Mundial e Brasil – 2006/07 a 2017/18**, Resumo Executivo. Capturado em 13 de jan. 2008. Online. Disponível na internet: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/MENU_LATERAL/AGRICULTURA_PECUARIA/PROJECoes_AGRONEGOCIO/RESUMO%20EXECUTIVO%20PROJECoes%20AGRONEGOCIO%20%202006-07%20A%202017-18.PDF.

MURAMATSU, K. & ASHIDA, K. Effect of dietary protein level on growth and liver enzyme activities of rats. **J. Nutr.**, 76, 143-150, 1962.

NICOLETTI, A.M. Enriquecimento Nutricional de macarrão com uso de subprodutos agroindustriais de baixo custo. Dissertação de mestrado, PPGCTA, UFSM, 2007.

NUTRINET. **Arroz com feijão: a combinação perfeita**. Artigos. Capturado em 9 dez. 2007. Online. Disponível na Internet: <http://nutrinet.com.br/artigos/arroz-com-feijao-a-combinacao-perfeita/>

NUKI, G. Gout. **Medicine**, vol. 34 issue 10, 417-423, 2006.

OLOYEDE, O.B.; OTUNOLA, G.A.; APATA, D.F. Assessment of protein quality of processed melon seed as a component of poultry feed. **Biokemistri**, 16(2),80-87, 2004.

PAWLAK, D.B., KUSHNER, J.A., LUDWIG, D.S. Effects of dietary glycaemic index on adiposity, glucose homoeostasis, and plasma lipids in animals. **Lancet**, 364, 778-85, 2004.

REEVES, P.G.; NIELSEN, F.H.; FAHEY Jr., G.C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **J. Nutr.**, 23, 1939-51, 1993.

ROMBEAU, J.L. Investigations of short-chain fatty acids in humans. **Clinical Nutrition Supplements**, 1, 19-23, 2004.

SALEH, A.M.; HUSSEIN, L.A.; ABDALLA, F.E.; EL-FOULY, M.M.; SHAHEEN, A.B. The nutritional quality of drum-dried algae produced in open door mass culture. **Zeitschrift für Ernährungswissenschaft**, 24(4), 256-263, 1985.

SGARBIERI, V.C & WHITAKER, J.R. Physical, chemical and nutritional properties of common bean (*Phaseolus*) proteins. **Advances in Food Research**, 28, 93-166, 1982.

THARANATHAN, R.N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Crit. Ver. Biotechnol.**, 22, 65-84, 2002.

VILELA, E.S.D.; SGARBIERI, V.C.; ALVIM, I.D. Determinação do valor protéico de células íntegras, autolisado total e extrato de levedura (*Saccharomyces* sp.). **Revista de Nutrição**, 13(3), 185-192, 2000.

WENK, C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. **Anim. Feed Sci. Tech.**, 90, 21-33, 2001.

YOUNES, H.; DEMIGNÉ, C.; BEHR, S.; RÉMÉSY, C. Resistant starch exerts a lowering effect on plasma urea by enhancing urea N transfer into the large intestine. **Nutr. Res.**, 15, 1199-1210, 1995.

ZAVARINI, I; BONORA, E.; PAGLIARA, M. Risk factors for coronary artery disease in healthy persons with hyperinsulinaemia and normal glucose tolerance. **N. Engl. J. Méd.** 320, 702-6, 1989.

4. DISCUSSÃO GERAL

De acordo com as recomendações nutricionais, alimentos energéticos, como pães, cereais (como arroz e trigo), raízes e tubérculos, encontram-se na base da pirâmide alimentar, constituindo até 60% das calorias ingeridas por dia. Entre os cereais, o arroz é um dos mais consumidos pela população mundial, representando a principal fonte de energia da dieta para cerca de 1,2 bilhões de pessoas. Sabe-se que a taxa e extensão da digestão do amido neste cereal podem ser influenciadas por diferentes fatores, destacando-se a variação na proporção amilose:amilopectina e o processamento dos grãos, principalmente devido as modificações geradas durante a parboilização.

As principais diferenças existentes na composição do amido e que influenciam profundamente as propriedades físico-químicas e metabólicas do arroz são causadas pela variação na proporção de seus dois polímeros formadores, amilose e amilopectina. A maioria dos estudos realizados correlaciona os níveis elevados de amilose com uma menor resposta glicêmica e esvaziamento mais lento do trato gastrintestinal. Porém, algumas pesquisas realizadas com cultivares de arroz de alto teor de amilose têm apresentado valores conflitantes, com menores, maiores ou semelhantes taxas de digestão de amido e respostas glicêmicas e insulinêmicas, quando comparados a cultivares com baixo teor de amilose.

Com base nos relatos acima, ressalta-se a importância da avaliação dos efeitos do consumo de arroz com teores crescentes de amilose sobre o metabolismo glicêmico e lipídico e demais respostas biológicas. Desta forma, os resultados obtidos na presente pesquisa (Artigo 2) demonstraram que o consumo de dietas com menores teores de amilose (Mochi) aumentaram o ganho de peso e consumo médio dos animais, evidenciando sua maior digestibilidade e palatabilidade, o que foi comprovado pela maior digestibilidade aparente da matéria seca nos tratamentos com menores teores deste polímero (Mochi e IRGA 416). Além disso, a menor digestibilidade da amilose também foi evidenciada pelo aumento da umidade nas fezes, redução no pH fecal e aumento na excreção de nitrogênio nas fezes dos animais submetidos ao tratamento com maior teor de amilose (IRGA 417). Outras alterações evidenciadas por esta menor digestibilidade foram a redução na resposta glicêmica pós-prandial, colesterol total e triglicérides e menor peso do pâncreas. Todos estes resultados demonstram que a proporção amilose:amilopectina afeta significativamente a digestão do

amido de arroz no trato gastrointestinal, sendo o teor de amilose um fator determinante na escolha do grão de arroz a ser utilizado na dieta com vistas ao controle de alguns parâmetros biologicamente relevantes, como as concentrações sanguíneas de glicose e triglicerídeos.

Existem cada vez mais evidências de que a grande variação nas respostas glicêmicas obtidas com o consumo de arroz também podem estar relacionadas ao tipo de processamento que os grãos são submetidos. A parboilização é um processo hidrotérmico que visa aumentar a renda de moagem do arroz. Porém, acredita-se que algumas das mudanças que afetam a forma física e o grau de gelatinização do amido deste cereal poderiam exercer efeito marcante na sua digestibilidade, de tal forma que o impacto glicêmico obtido com este alimento seria completamente diferente ao obtido com o consumo de arroz branco. Contudo, poucas pesquisas têm investigado este tópico e os resultados existentes são conflitantes, tornando evidente a necessidade de mais estudos relacionando o efeito do consumo de grãos de arroz submetidos a diferentes formas de processamento (branco ou parboilizado) sobre a resposta biológica.

No Artigo 3 foi evidenciado que o beneficiamento de uma das variedades de arroz mais plantadas e consumidas no País (IRGA 417), afeta diversos parâmetros de desempenho e resposta metabólica em ratos. Neste estudo, os animais submetidos ao tratamento com arroz parboilizado apresentaram maior ganho de peso e consumo, e menor conversão alimentar do que os animais do tratamento com arroz branco, comprovando que este processo de beneficiamento provoca mudanças na forma física e na estrutura interna dos grãos, as quais exercem efeitos marcantes na digestibilidade. Uma destas mudanças é a formação de amido resistente numa pequena fração do amido de arroz parboilizado, o que foi comprovado pelo menor pH fecal e maior excreção de nitrogênio nas fezes dos animais que consumiram este tipo de arroz. Outros efeitos importantes foram a maior concentração plasmática pós-prandial de glicose, colesterol total e triglicerídeos sanguíneos; menores níveis de colesterol HDL e maior peso do pâncreas nos animais alimentados com arroz parboilizado, comprovando que o processo de parboilização afeta alguns parâmetros relacionados com o metabolismo de glicose e lipídios nos animais. Além disso, observou-se que os animais submetidos ao tratamento com arroz parboilizado apresentaram menores níveis de albumina e maiores de ácido úrico, destacando a influência da parboilização também no metabolismo protéico dos animais. Portanto, os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que a parboilização pode provocar mudanças estruturais nos constituintes dos grãos de arroz, afetando significativamente diversos parâmetros relacionados ao metabolismo de carboidratos,

proteínas e lipídios, sendo a escolha do tipo de arroz a ser incluído na dieta, intimamente relacionada com as necessidades nutricionais específicas de cada grupo populacional.

Embora o arroz ainda seja o cereal mais consumido na mesa da população brasileira, observa-se uma queda de 13,5% no seu consumo nos últimos 20 anos, devido, principalmente, a mudança no estilo de vida da sociedade moderna. Em contrapartida, o macarrão, que é o principal alimento amiláceo que compete com o arroz na mesa da população brasileira, têm apresentado consumo crescente, que hoje corresponde a 5,6 Kg por pessoa/ano. Embora o macarrão esteja inserido no grupo dos carboidratos complexos, apresentando um índice glicêmico entre baixo e moderado, existem indícios de que o consumo crescente deste produto, em detrimento ao tradicional arroz com feijão, seria uma das principais causas do aumento da incidência de desnutrição protéica e obesidade adulta e infantil, principalmente nas populações carentes.

Com base nestes relatos e devido a falta de trabalhos visando esclarecer melhor os efeitos metabólicos decorrentes do crescente consumo de macarrão em detrimento do arroz, a pesquisa conduzida no Artigo 4 teve por finalidade comparar o efeito do consumo do arroz branco IRGA 417 e macarrão tipo espaguete sobre o desempenho e resposta metabólica em ratos. Embora não tenham sido observadas diferenças significativas no ganho de peso e consumo entre os tratamentos, observou-se um aumento 10% superior no ganho de peso dos animais alimentados com o macarrão, o que pode ser explicado pela maior digestibilidade aparente da matéria seca neste tratamento. Além disso, esta maior digestibilidade do macarrão em relação ao arroz também foi evidenciada pela menor produção de fezes úmidas e secas, conteúdo de nitrogênio nas fezes e maior digestibilidade aparente da proteína dos animais alimentados com macarrão. Aliado a estes resultados, a concentração plasmática pós-prandial de glicose, o colesterol total e triglicérides e o peso do pâncreas foram aumentados nos animais que consumiram macarrão, enquanto que os níveis de colesterol HDL foram reduzidos, evidenciando o efeito negativo do consumo de macarrão em substituição ao de arroz no metabolismo. Da mesma forma, o teor de ácido úrico plasmático e o peso dos rins foram significativamente maiores para o tratamento com macarrão, evidenciando o efeito negativo do consumo deste tipo de alimento amiláceo também no metabolismo protéico dos animais.

5. CONCLUSÕES

❖ As variações na proporção amilose:amilopectina dos grãos de arroz afetam significativamente a digestão do amido no trato gastrintestinal, influenciando o ganho de peso, consumo alimentar, constituição das fezes, concentração plasmática de glicose, triglicerídeos e colesterol e o tamanho do pâncreas. Desta forma, o teor de amilose, atualmente utilizado para avaliar algumas propriedades de consumo do produto (coesão, maciez, consumo de água na cocção, tempo de cocção e rendimentos gravimétrico e volumétrico na cocção), poderá auxiliar na escolha do grão a ser utilizado na dieta com vistas ao controle de alguns parâmetros biologicamente relevantes, como as concentrações sanguíneas de glicose e triglicerídeos.

❖ O processo de parboilização dos grãos de arroz pode provocar mudanças estruturais nos constituintes nutricionais, afetando negativamente alguns parâmetros relacionados ao metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, como ganho de peso, consumo, pH fecal, excreção de nitrogênio nas fezes, concentração pós-prandial de glicose, colesterol total e HDL, triglicerídeos, albumina, ácido úrico e peso do pâncreas. Desta forma, a escolha do tipo de arroz a ser incluído na dieta deve considerar as necessidades nutricionais específicas de cada grupo populacional.

❖ O consumo de macarrão em substituição ao arroz afeta negativamente diversos parâmetros relacionados ao metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios, influenciando no ganho de peso, constituição das fezes, concentração plasmática de glicose, ácido úrico, colesterol total e HDL, tamanho dos rins e pâncreas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIAP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ARROZ PARBOILIZADO. Disponível em: <<http://www.abiap.com.br>>. Acesso em: 18 dez. 2007.

ABIMA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE MASSAS ALIMENTÍCIAS. Disponível em: <<http://www.abima.com.br>>. Acesso em: 23 out. 2007.

ALVINA, M., ARAYA, H. Rapid Carbohydrate digestion rate produced lesser short-term satiety in obese preschool children. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v. 58, p. 637-642, 2004.

AMATO, G. W.; ELIAS, M. C. **A parboilização do arroz**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2005. 160 p.

AMATO, G. W.; CARVALHO, J. L. V.; SILVEIRA, F. S. **Arroz Parboilizado: tecnologia limpa, produto nobre**. Porto Alegre: Ricardo Lenz, 2002. 240 p.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 16th ed., supplement 1998. Washington: AOAC, 1995. 1018p.

AARATHI, A.; UROOJ, A.; PUTTARAJ, S. In vitro starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. **Starch/Stärke**, v. 55, p. 94-99, 2003.

ARROZ EM FOCO. **Estudo caracteriza o consumo de arroz no Brasil**. Site Arroz Brasileiro, 01 ago. 2005. Disponível em: <<http://www.arroz.agr.br/site/arrozemfoco/050801.php>>. Acesso em: 23 out. 2007.

ASAOKA, M. *et al.* Characterization of endosperm starch from high-amylose mutants of rice (*Oryzae sativa* L.). **Starch/Stärke**, v. 38, n. 1, p. 114-121, 1986.

BAGHURST, P. A.; BAGHURST, K. I.; RECORD, S. J. Dietary fibre, non-starch polysaccharides and resistant starch – a review. **Food Aust.**, v. 48, p. S3-S35, 1996.

BALL, S. From glicogen to amylopectin: a model for the biogenesis of the plant starch granule. **In Cell**, v. 86, n. 1, p. 349-352, 1996.

BEHALL, K. M.; SCHOLFIELD, D. J.; CANARY, J. Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 47, p. 428-432, 1988.

BENTON, D. Carbohydrate ingestion, blood glucose and mood. **Neurosci. Biobehav. R.**, v. 26, p. 293-308, 2002.

BERTOFT, E. Studies on the structure of pea starches. Part 4. Intermediate material of wrinkled pea starch. **Starch/Stärke**, v. 45, n. 1, p. 420-425, 1993.

BHATTACHARYA, K. Parboiling of rice. In: JULIANO, B. O. (ed.) **Rice Chemistry and Technology**. 2nd ed. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 289-348.

BJÖRCK, I. *et al.* Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 59 (suppl), p. 699S-705S, 1994.

BOWERING, J. *et al.* Dietary protein level and uric acid metabolism in normal man. **J. Nutr.**, v. 100, p. 249-261, 1969.

BRAND, J.C. *et al.* Food processing and the glycemic index. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 42, p. 1192-1196, 1985.

BRAND-MILLER, J.; PANG, E.; BRAMALL, L. Rice: a high or low glycemic index food? **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 56, p. 1034-1036, 1992.

BROUNS, F., KETTLITZ, B., ARRIGONI, E. Resistant starch and “the butyrate revolution”. **Trends Food Sci. Tech.**, v. 13, p. 251-261, 2002.

BULÉON, A. *et al.* Starch granules: structure and biosynthesis. **Int. J. Biol. Macromol.**, v. 23, n. 1, p. 85-112, 1998.

BUSATO, O. **Ácido úrico**. Disponível em: <<http://www.absdasaude.com.br/artigo.php?7>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

CALIGARI, S. *et al.* Lupin (*Lupinus albus*) protein isolate (L-ISO) has adequate nutritional value and reduces large intestinal weight in rats after restricted and ad libitum feeding. **Annals of Nutrition & Metabolism**, v. 50, p. 528-537, 2006.

CASIRAGHI, M. C. *et al.* Effects of processing on rice starch digestibility evaluated by in vivo and in vitro methods. **J. Cereal Sci.**, v. 17, p. 147-156, 1993.

CARREIRA, M.C. *et al.* Glycemic index: Effect of food storage under low temperature. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 4, p. 569-574, 2004.

CHERBUT, C. *et al.* Digestive and metabolic effect of potato and maize fibers in human subjects. **Brit. J. Nutr.**, v. 77, p. 33-46, 1997.

CIOCCIA, V. P.; BRITO, A. M.; HEVIA, P. Hepatic purine enzymes and uric acid excretion as indicators of protein quality in chicks fed graded L-lysine diets. **J. Sci. Food. Agric.**, v. 62, n. 4, p. 369-374, 1993.

CLIFFORD, A. J. *et al.* Liver nucleotide metabolism in relation to amino acid supply. **BBA – Protein Struct. M.**, v. 277, n. 3, p. 443-458, 1972.

COFFMAN, W. R.; JULIANO, B. O. Rice. In: OLSON, R. A.; FREY, K. J. **Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement**. Madison: American Society of Agronomy, cap.5, p. 101-131, 1987.

COLONNA, P.; MERCIER, C. Macromolecules structure of wrinkled- and smooth- pea starch components. **Carbohydr. Res.**, v. 126, n. 1, p. 233-247, 1984.

COULSTON, A. M. *et al.* Effect of source of dietary carbohydrate on plasma glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide response to test meals in subjects with noninsulin-dependent diabetes mellitus. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 40, p. 965-970, 1984.

CURÁ, J. A.; JANSSON, P.; KRISMAN, C. R. Amylose is not strictly linear. **Starch/Stärke**, v. 47, n. 6, p. 207-209, 1995.

CYBERDIET. **Arroz e feijão, um par perfeito!** Milena Lima. Colunas. Disponível em: <http://www1.uol.com.br/cyberdiet/colunas/050926_nut_arroz_feijao.htm>. Acesso em: 9 dez. 2007.

DEFRONZO, R. A.; FERRANNINI, E. Regulation of intermediary metabolism during fasting and feeding. In **Endocrinology**, 3rd ed.; De Groot, L.J.; Besser, G.M.; Cahill, G.F.Jr.; Marshall, J.C.; Nelson, D.H.; Odell, W.D.; Potts, J.T.Jr.; Rubenstein, A.H.; Steinberger, E. (eds.). W.B. Saunders: Philadelphia, Chapter 81, Vol. 2, 1995. p.1389-1410.

DEMIGNÉ, C.; RÉMÉSY, C.; RAYSSIGUIER, Y. Effect of fermentable carbohydrates in volatile fatty acids, ammonia and mineral absorption in the rat caecum. **Reprod. Nutr. Dev.**, v. 20, p. 1351-1359, 1980.

DEMIGNÉ, C.; RÉMÉSY, C. Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. **J. Nutr.**, v. 112, p. 2227-2234, 1982.

DENARDIN, C.C. *et al.* Effect of amylose content of rice varieties on glycemic metabolism and biological responses in rats. **Food Chem.**, v. 105, p. 1474-1479, 2007.

DE SCHRIJVER, R.; VANHOOF, K.; VANDE GINSTE, J. Nutrient utilization in rats and pigs fed enzyme resistant starch. **Nutr. Res.**, v. 19, p. 1349-1361, 1999.

DERYCKE, V. *et al.* Starch gelatinization and amylose-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. **J. Cereal Sci.**, v. 42, p. 334-343, 2005.

DEXTER, P. B. **Rice fortification for developing countries.** Department of Food Science, University of Arkansas – Fayetteville. August, 1998. Disponível em: <<http://www.mostproject.org/rice4.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2004.

EASTWOOD, M.A. The physiological effect of dietary fiber: an update. **Annu. Rev. Nutr.**, v. 12, p. 19-35, 1992.

EGGUM, B. O. *et al.* The effect of protein quality and fibre level in the diet and microbial activity in the digestive tract on protein utilization and energy digestibility in rats. **Br. J. Nutr.**, v. 51, p. 305-314, 1984.

EGGUM, B. O.; JULIANO, B.O.; PEREZ, C.M.; ACEDO, E.F. The resistant starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice. **J. Cereal Sci.**, v. 18, p. 159-170, 1993.

ELIASSON, A. C. **Carbohydrates in food.** New York: Marcel Dekker, Inc., 1996. 664 p.

ELIASSON, A. C. **Starch in food – structure, function and applications.** New York: Boca Raton, CRC Press, 2004. 605 p.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Peculiaridades do consumo de arroz no Brasil.** 28 out. 2005. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/eventosenoticias/anteriores/antioriore2005/051028.htm>>. Acesso em: 23 out. 2007.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **O feijão na alimentação/nutrição do brasileiro: ontem e amanhã.** Prof. Dr. José Eduardo Dutra de Oliveira. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/conafe/pdf/palestra13.pdf>>. Acesso em: 9 dez. 2007.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Importância econômica, agrícola e alimentar do arroz.** Sistemas de Produção, 3 ISSN 1806-9207, Versão Eletrônica Nov.2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoBrasil/cap18.htm>>. Acesso em: 23 out. 2007.

FAO/WHO. **Carbohydrates in human nutrition.** Roma, 1997.

FREI, M.; SIDDHURAJU, P.; BECKER, K. Studies on in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chem.**, v. 83, p. 395-402, 2003.

FRENCH, D. *et al.* **Starch: Chemistry and Technology.** Academic Press: London, 1984.

GILBERT, G. A.; SPRAGG, S. P. Iodine Sorption: "Blue Value". In: Whistler, R.L. *et al.* **Methods in Carbohydrate Chemistry:** volume IV – starch. London: Academic Press, 1964. p.168-169.

GODA, T. *et al.* Effect of high-amylose starch on carbohydrate digestive capability and lipogenesis in epididymal adipose tissue and liver of rats. **J. Nutr. Biochem.**, v. 5, n. 5, p. 256-260, 1994.

GODDARD, M. S.; YOUNG, G.; MARCUS, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 39, p. 388-392, 1984.

HIZUKURI, S.; KANEKO, T.; TAKEDA, Y. Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 760, n. 1, p. 188-191, 1983.

HIZUKURI, S. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. **Carbohyd. Res.**, v. 141, n. 1, p. 295-305, 1985.

HIZUKURI, S. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin and its significance. **Carbohyd. Res.**, v. 147, n. 1, p. 342-347, 1986.

HU, P. *et al.* Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents. **J. Cereal Sci.**, v. 40, p. 231-237, 2004.

HOSENEY, R. C. **Principios de ciencia y tecnología de los cereales.** Acribia, S.A. Zaragoza (España), 1991. 321 p.

IMBERTY, A. *et al.* Recent advances in knowledge of starch structure. **Starch/Stärke**, v. 43, n. 10, p. 375-384, 1991.

IRGA. **Dados de safra – Cultivares.** Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra_detalhes&dica=47>. Acesso em: 23 maio 2007.

JENKINS, D. J. A.; WOLEVER, T. M. S.; TAYLOR, R. H. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 34, p. 362-366, 1981.

JENKINS, D. J. A. *et al.* Metabolic effects of a low-glycemic-index diet. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 46, p. 968-975, 1987.

JENKINS, A. L. Starch foods and glycemic index. **Diabetes Care**, v. 11, n. 2, p. 149-159, 1988.

JULIANO, B. O.; FAO. **Rice in Human Nutrition.** FAO, Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/t0567e/t0567e00.htm>>. Acesso em: 13 fev. 1993.

KABIR, M. *et al.* Dietary amylose-amylopectin starch content affects glucose and lipid metabolism in adipocytes of normal and diabetic rats. **J Nutr.**, v. 128, p. 35-43, 1998.

KASEMSUWAN, T.; JANE, J. L. Quantitative method for the survey of starch phosphate derivatives and starch phospholipids by P-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Cereal Chem.**, v. 73, n. 1, p. 702-707, 1996.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chem.**, v. 80, p. 589-596, 2003.

KIM, W.K. *et al.* Effect of resistant starch from corn and rice on glucose control, colonic events, and blood lipid concentration in streptozotocin-induced diabetic rats. **J. Nutr. Biochem.**, v. 14, p. 166-172, 2003.

KOPP, W. The atherogenic potential of dietary carbohydrate. **Preventive Medicine**, v. 42, p.336-342, 2006.

KORACH-ANDRÉ, M. *et al.* Glucose appearance in the peripheral circulation and liver glucose output in men after a large ¹³C starch meal. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 80, p. 881-886, 2004.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo:Editora da Universidade de São Paulo, 2006. 648 p.

LANSKY, S.; KOOI M, T. J.; SCHOCH, T. J. Properties of the fractions and linear subfractions from various starches. **J. Am. Chem. Soc.**, v. 71, n. 1, p. 4066-4075, 1949.

LARSEN, H. N. *et al.* Influence of parboiling and physico-chemical characteristics of rice on the glycaemic index in non-insulin-dependent diabetic subjects. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v. 50, n. 1, p. 22-27, 1996.

LARSEN, H. N. *et al.* Glycaemic index of parboiled rice depend on the severity of processing: study in type 2 diabetic subjects. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v. 54, p. 380-385, 2000.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M **Princípios de Bioquímica**. Traduzido por Arnaldo Antônio Simões, Wilson Roberto Navega Lodi. 2ª Ed. São Paulo: SARVIER, 2006. 1202 p.

LI, J. H. *et al.* Starch from hull-less barley: V. In-vitro susceptibility of waxy, normal, and high-amylose starches towards hydrolysis by alpha-amylases and amyloglucosidases. **Food Chem.**, v. 84, n. 1, p. 621-632, 2004.

LINDEBOOM, N.; CHANG, P. R.; TYLER, R. T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. **Starch/Stärke**, v. 56, n. 1, p. 89-99, 2004.

LINDER, M.C. Nutrition and metabolism of carbohydrates. In **Nutritional Biochemistry and Metabolism with Clinical Applications**, 2ª ed. APPLETON & LANGE: United States of America, 1991. p. 21-48.

LINEBACK, D. R. The starch granule: organization and properties. **Bakers Dig.**, v. 58, n. 1, p. 16-21, 1984.

LITWACK, G. *et al.* A study of the relationship of liver xantine oxidase to quality of dietary protein. **J. Nutr.**, v. 47, p. 299-206, 1952.

LOBO, A. R.; SILVA, G. M. de L. Implicações Nutricionais no Consumo de Fibras e Amido resistente. **Nutrição em Pauta**, São Paulo: n. 46, p. 28-30, jan/fev. 2001.

MAHAN, L. K.; Krause: **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9.ed. São Paulo: Roca, 1998.

MARCHINI, J. S. *et al.* Cálculo das recomendações de ingestão protéica: aplicação a pré-escolar, escolar e adulto utilizando alimentos brasileiros. **Ver. Saúde Pública**, v. 28, n. 2, p. 146-52, 1994.

MARSHALL, W. E.; WADSWORTH, J. I. **Rice Science and Technology**. New Orleans, Louisiana, 1993. 470 p.

MAYER, J. Glucostatic mechanism of regulation of food intake. **New Eng. J. Med.**, v. 249, p. 13-16, 1953.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – Assessoria de Gestão Estratégica. **PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO: Mundial e Brasil – 2006/07 a 2017/18**, Resumo Executivo. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/MENU_LATERAL/AGRICULTURA_PECUARIA/PROJECOES_AGRONEGOCIO/RESUMO%20EXECUTIVO%20PROJECOES%20AGRONEGOCIO%20%202006-07%20A%202017-18.PDF. Acesso em: 13 jan. 2008.

MORRISON, W. R. Lipids in cereal starches. In: HILL, R. D.; MUNCK, L. (ed.). **New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates**. Elsevier: Amsterdam, 1985.

MORRISON, W. R. Lipids in cereal starches: a review. **J. Cereal Sci.**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 1988.

MORRISON, W. R. Starch lipids and how they relate to starch granule structure and functionality. **Cereal Food World**, v. 40, n. 1, p. 437-446, 1995.

MURAMATSU, K.; ASHIDA, K. Effect of dietary protein level on growth and liver enzyme activities of rats. **J. Nutr.**, v. 76, p. 143-150, 1962.

NICOLETTI, A.M. **Enriquecimento Nutricional de macarrão com uso de subprodutos agroindustriais de baixo custo**. 2007. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

NITZKE, J. A. Terra de arroz. Instituto de ciência e Tecnologia de Alimentos, UFRGS. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/icta/agronom/arroz/esqarroz.htm>>. Acesso em: 8 dez, 2004.

NUTRINET. **Arroz com feijão: a combinação perfeita**. Artigos. Disponível em: <<http://nutrinet.com.br/artigos/arroz-com-feijao-a-combinaçao-perfeita/>>. Acesso em: 9 dez. 2007.

NUKI, G. Gout. **Medicine**, v. 34, n. 10, p. 417-423, 2006.

OATES, C. G. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. **Trends Food Sci. Tech.**, v. 8, n. 1, p. 375-382, 1997.

OLOYEDE, O. B.; OTUNOLA, G. A.; APATA, D. F. Assessment of protein quality of processed melon seed as a component of poultry feed. **Biokemistri**, v. 16, n. 2, p. 80-87, 2004.

ONG, M. H.; BLANSHARD, J. M. V. Texture determinants in cooked, parboiled rice. I: Rice starch amylose and the fine structure of amylopectin. **J. Cereal Chem.**, v. 21, p. 251-260, 1995.

PANLASIGUI, L. N. *et al.* Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 54, p. 871-877, 1991.

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

PLANETA ARROZ. Parboilizado é popular. Ano 5, edição 15, ag. 2005. Disponível em: <<http://www.planetaarroz.com.br>>. Acesso em: 20 dez. 2007.

PAWLAK, D. B.; KUSHNER, J. A.; LUDWIG, D. S. Effects of dietary glycaemic index on adiposity, glucose homeostasis, and plasma lipids in animals. **Lancet**, v. 364, p. 778-785, 2004.

RAMIREZ, I. Starch flavor: Apparent discrimination between amylopectin and amylose by rats. **Physiol Behav.**, v. 50, n. 6, p. 1181-1186, 1991.

RASMUSSEN, O.; HERMANSEN, K. Preprandial blood glucose values and glycemc responses in insulin-dependent diabetes mellitus at constant insulinemia. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 53, p. 520-523, 1991.

RASMUSSEN, O.W. *et al.* Blood glucose and insulin responses to different meals in non-insulin-dependent diabetic subjects of both sexes. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.56, p. 712-715, 1995.
REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEY JR., G. C. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. **J. Nutr.**, v. 23, p. 1939-1951, 1993.

ROBERTS, S. B.; MCCRORY, M. A.; SALTZMAN, E. The influence of dietary composition on energy intake and body weight. **J. Am. Coll. Nutr.**, v. 21, n. 2, p. 140S-145S, 2002.

ROMBEAU, J. L. Investigations of short-chain fatty acids in humans. **Clin. Nutr. Supplements**, v. 1, p. 19-23, 2004.

SALEH, A.M. *et al.* The nutritional quality of drum-dried algae produced in open door mass culture. **Zeitschrift für Ernährungswissenschaft**, v. 24, n. 4, p. 256-263, 1985.

SCLAFANI, A.; NISSENBAUM, J. W.; VIGORITO, M. Starch preference in rats. **Neurosci.Biobehav. R.**, v. 11, n. 2, p. 253-262, 1987.

SGARBIERI, V. C.; WHITAKER, J. R. Physical, chemical and nutritional properties of common bean (*Phaseolus*) proteins. **Advances in Food Research**, v. 28, p. 93-166, 1982.

SILVA, L. P. *et al.* Efeito da Parboilização do Arroz em Mediadas Bromatológicas de Interesse Nutricional. Conferencia Internacional de Arroz de Clima Templado, 3, 2003, Punta Del Este, Uruguay : **Anais em CD...** Punta Del Este, 2003.

SINGH, S.; KALIA, M.; MALHOTRA, S. R. Effect of parboiling, hand-pounding and Machine-milling on Chemical Composition of Rice. **J. Food Sci. Tech.**, v. 36, p. 434-435, 1999.

SINGH, N. *et al.* Morohological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chem.**, v. 81, n. 1, p. 219-231, 2003.

SNOW, P.; O'DEA, K. Factors affecting the rate of hydrolysis of starch in food. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 34, p. 2721-2727, 1981.

STARK, J. R.; LYNN, A. Biochemistry of plant polysaccharides: starch granules large and small. **Biochem. Soc. Trans.**, v. 20, n. 1, p. 7-12, 1992.

STEWART, S. L. *et al.* The relationship between the glycaemic response to breakfast cereals and subjective appetite and food intake. **Nutr. Res.**, v. 17, n. 8, p. 1249-1260, 1997.

SUJATHA, S. J.; AHMAD, R.; BHAT, P. R. Physicochemical properties and cooking qualities of two varieties of raw and parboiled rice cultivated in the coastal region of Dakshina Kannada, India. **Food Chem.**, v. 86, n. 2, p. 211-216, 2004.

TAKO, M.; HIZUKURI, S. Retrogradation mechanism of rice starch. **Cereal Chem.**, v. 77, n. 4, p. 473-477, 2000.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch – composition, fine structure and architecture. **J. Cereal Sci.**, v. 39, n.1, p.151-165, 2004.

TETENS, I. *et al.* Physico-chemical characteristics as indicators of starch availability from milled rice. **J. Cereal Sci.**, v. 26, p. 355-361, 1997.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Crit. Rev. Biotechnol.**, v. 22, n. 1, p. 65-84, 2002.

UROOJ, A.; PUTTRAJ, S. H. Digestibility index and factors affecting rate of starch digestion in vitro in conventional food preparation. **Starch/Stärke**, v. 51, p. 430-435, 1999.

VANDEPUTTE, G. E.; DELCOUR, J. A. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. **Carbohydr. Polym.**, v. 58, n. 1, p. 245-266, 2004.

VANDEPUTTE, G. E. *et al.* Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. **J. Cereal Sci.**, v. 38, n. 1, p. 61-68, 2003.

VANDEPUTTE, G. E. *et al.* Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behavior of granular starch. **J. Cereal Sci.**, v. 38, n. 1, p. 43-52, 2003.

VANDEPUTTE, G. E. *et al.* Rice starches. II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. **J. Cereal Sci.**, v. 38, n. 1, p. 53-59, 2003.

VILELA, E. S. D.; SGARBIERI, V. C.; ALVIM, I. D. Determinação do valor protéico de células íntegras, autolisado total e extrato de levedura (*Saccharomyces* sp.). **Revista de Nutrição**, v. 13, n. 3, p. 185-192, 2000.

WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chem.**, v. 71, n. 1, p. 263-271, 1994.

WENK, C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. **Anim. Feed Sci. Tech.**, v. 90, p. 21-33, 2001.

WOLEVER, T. M. S. *et al.* Comparison of regular and parboiled rices: explanation of discrepancies between reported glycemic responses to rice. **Nutr. Res.**, v. 6, n. 4, p. 349-357, 1986.

WOLEVER, T. M. S. *et al.* Glycemic index of foods in individual subjects. **Diabetes Care**, v. 13, p. 126-132, 1990.

WOLEVER, T. M. S. *et al.* Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. **Eur. J. Clin. Nutr.**, v. 57, p. 475-482, 2003.

WOLEVER, T.M.S.; JENKINS, D.J.A. The use of glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals. **Am. J. Clin. Nutr.**, v.43, p.167-172, 1986.

WOLFF, I. A. *et al.* The structure of a new starch of high amylose content. **J. Am. Chem. Soc.**, v. 77, n. 1, p. 1654-1659, 1955.

WU, H. C. H.; SARKO, A. The double-helical molecular structure of crystalline A-amylose. **Carbohydr. Res.**, v. 61, n. 1, p. 27-40, 1978.

YOUNES, H. *et al.* Resistant starch exerts a lowering effect on plasma urea by enhancing urea N transfer into the large intestine. **Nutr. Res.**, v. 15, p. 1199-1210, 1995.

ZAVARINI, I; BONORA, E.; PAGLIARA, M. Risk factors for coronary artery disease in healthy persons with hyperinsulinaemia and normal glucose tolerance. **N. Engl. J. Med.**, v. 320, p. 702-706, 1989.

ZHOU, X.; KAPLAN, M. L. Soluble amylose cornstarch is more digestible than soluble amylopectin potato starch in rats. **Am. Soc. Nutr. Sci.**, p. 1349-1356, 1997.

ZHOU, Z. *et al.* Composition and functional properties of rice. **Int. J. Food Tech.**, v. 37, p. 849-868, 2002.

7. ANEXOS

ANEXO 1

REVISTA DE NUTRIÇÃO

Escopo e política

A Revista de Nutrição / *Brazilian Journal of Nutrition* é um periódico especializado que publica artigos que contribuem para o estudo da Nutrição em suas diversas subáreas e interfaces; está aberta a contribuições da comunidade científica nacional e internacional, com periodicidade bimestral. A Revista publica trabalhos inéditos nas seguintes categorias:

- **Original:** contribuições destinadas à divulgação de resultados de pesquisas inéditas tendo em vista a relevância do tema, o alcance e o conhecimento gerado para a área da pesquisa.
- **Especial:** artigos a convite sobre temas atuais.
- **Revisão:** síntese crítica de conhecimentos disponíveis sobre determinado tema, mediante análise e interpretação de bibliografia pertinente, de modo a conter uma análise crítica e comparativa dos trabalhos na área, que discuta os limites e alcances metodológicos, permitindo indicar perspectivas de continuidade de estudos naquela linha de pesquisa. Serão publicados até dois trabalhos por fascículo.
- **Comunicação:** relato de informações sobre temas relevantes, apoiado em pesquisas recentes, cujo mote seja subsidiar o trabalho de profissionais que atuam na área, servindo de apresentação ou atualização sobre o tema.
- **Nota Científica:** dados inéditos parciais de uma pesquisa em andamento.
- **Ensaio:** trabalhos que possam trazer reflexão e discussão de assunto que gere questionamentos e hipóteses para futuras pesquisas.

Pesquisas envolvendo seres humanos

Resultados de pesquisas relacionadas a seres humanos devem ser acompanhados de cópia do parecer do Comitê de Ética da Instituição de origem, ou outro credenciado junto ao Conselho Nacional de Saúde. Além disso, deverá constar, no último parágrafo do item Métodos, uma clara afirmação do cumprimento dos princípios éticos contidos na Declaração de Helsinki (2000), além do atendimento a legislações específicas do país no qual a pesquisa foi realizada.

Forma e preparação de manuscritos

1) Avaliação de manuscritos - Os manuscritos submetidos à Revista, que atenderem à política editorial e às "instruções aos autores", serão encaminhados ao Comitê Editorial, que considerará o mérito científico da contribuição. Aprovados nesta fase, os manuscritos serão encaminhados aos revisores *ad hoc* previamente selecionados pelo Comitê. Cada manuscrito será enviado para três relatores de reconhecida competência na temática abordada.

O processo de avaliação por pares é o sistema de *blind review*, em procedimento sigiloso quanto à identidade tanto dos autores quanto dos revisores. Por isso os autores deverão empregar todos os meios possíveis para evitar a identificação de autoria do manuscrito.

No caso da identificação de conflito de interesse da parte dos revisores, o Comitê Editorial encaminhará o manuscrito a outro revisor *ad hoc*.

Os pareceres dos consultores comportam três possibilidades: a) aceitação integral; b) aceitação com reformulações; c) recusa integral. Em quaisquer desses casos, o autor será comunicado.

A decisão final sobre a publicação ou não do manuscrito é sempre dos editores, aos quais é reservado o direito de proceder ajustes de gramática necessários. Na detecção de problemas de redação, o manuscrito será devolvido aos autores para as alterações devidas; o trabalho reformulado deve retornar no prazo máximo determinado. Após aprovação final, encaminhar em disquete 3,5', empregando editor de texto MS Word versão 6.0 ou superior.

Manuscritos aceitos: manuscritos aceitos poderão retornar aos autores para aprovação de eventuais alterações, no processo de editoração e normalização, de acordo com o estilo da Revista.

2) Submissão de trabalhos - São aceitos trabalhos acompanhados de carta assinada por todos os autores, com descrição do tipo de trabalho, declaração de que o trabalho está sendo submetido apenas à Revista de Nutrição e de concordância com a cessão de direitos autorais. Caso haja utilização de figuras ou tabelas publicadas em outras fontes, deve-se anexar documento que ateste a permissão para seu uso. A carta deve indicar o nome, endereço, números de telefone e fax do autor para o qual a correspondência deve ser enviada.

- **Autoria:** o número de autores deve ser coerente com as dimensões do projeto. O crédito de autoria deverá ser baseado em contribuições substanciais, tais como concepção e desenho, ou análise e interpretação dos dados. Não se justifica a inclusão de nome de autores cuja

contribuição não se enquadre nos critérios acima, podendo, nesse caso, figurar na seção Agradecimentos. Os manuscritos devem conter, ao final, explicitamente, a contribuição de cada um dos autores.

3) Apresentação do manuscrito - Enviar os manuscritos para o Núcleo de Editoração da Revista em quatro cópias, preparados em espaço duplo, com fonte Times New Roman tamanho 12 e limite máximo de 25 páginas para Artigo Original ou de Revisão, 10-15 páginas para Comunicação e Ensaio e 5 páginas para Nota Científica. Todas as páginas devem ser numeradas a partir da página de identificação. Para esclarecimentos de eventuais dúvidas quanto à forma, sugere-se consulta a este fascículo. Aceitam-se trabalhos escritos em português, espanhol ou inglês, com título, resumo e termos de indexação no idioma original e em inglês. Os artigos devem ter, aproximadamente, 30 referências, exceto no caso de artigos de revisão, que podem apresentar em torno de 50.

- **Página de título:** deve conter: a) título completo; b) short title com até 40 caracteres (incluindo espaços), em português (ou espanhol) e inglês; c) nome de todos os autores por extenso, indicando a filiação institucional de cada um; d) endereço completo para correspondência com os autores, incluindo o nome para contato, telefone, fax e e-mail. Observação: esta deverá ser a única parte do texto com a identificação dos autores.

- **Resumo:** todos os artigos submetidos em português ou espanhol deverão ter resumo no idioma original e em inglês, com um mínimo de 150 palavras e máximo de 250 palavras. Os artigos submetidos em inglês deverão vir acompanhados de resumo em português, além do abstract em inglês. Para os artigos originais, os resumos devem ser estruturados destacando objetivos, métodos básicos adotados, informação sobre o local, população e amostragem da pesquisa, resultados e conclusões mais relevantes, considerando os objetivos do trabalho, e indicar formas de continuidade do estudo. Para as demais categorias, o formato dos resumos deve ser o narrativo, mas com as mesmas informações. Não deve conter citações e abreviaturas. Destacar no mínimo três e no máximo seis termos de indexação, utilizando os descritores em Ciência da Saúde - DeCS - da Bireme.

- **Texto:** com exceção dos manuscritos apresentados como Revisão, Nota Científica e Ensaio, os trabalhos deverão seguir a estrutura formal para trabalhos científicos:

- **Introdução:** deve conter revisão da literatura atualizada e pertinente ao tema, adequada à apresentação do problema, e que destaque sua relevância. Não deve ser extensa, a não ser em manuscritos submetidos como Artigo de Revisão. **Metodologia:** deve conter descrição clara e sucinta, acompanhada da correspondente citação bibliográfica, incluindo: procedimentos

adotados; universo e amostra; instrumentos de medida e, se aplicável, método de validação; tratamento estatístico.

- **Resultados:** sempre que possível, os resultados devem ser apresentados em tabelas ou figuras, elaboradas de forma a serem auto-explicativas e com análise estatística. Evitar repetir dados no texto. Tabelas, quadros e figuras devem ser limitados a cinco no conjunto e numerados consecutiva e independente-mente com algarismos arábicos, de acordo com a ordem de menção dos dados, e devem vir em folhas individuais e separadas, com indicação de sua localização no texto. A cada um se deve atribuir um título breve. Os quadros terão as bordas laterais abertas. O autor responsabiliza-se pela qualidade das figuras (desenhos, ilustrações e gráficos), que devem permitir redução sem perda de definição, para os tamanhos de uma ou duas colunas (7 e 15cm, respectivamente). Sugere-se nanquim ou impressão de alta qualidade. **Discussão:** deve explorar, adequada e objetivamente, os resultados, discutidos à luz de outras observações já registradas na literatura. **Conclusão:** apresentar as conclusões relevantes, considerando os objetivos do trabalho, e indicar formas de continuidade do estudo. Se incluídas na seção *Discussão*, não devem ser repetidas.

- **Agradecimentos:** podem ser registrados agradeci-mentos, em parágrafo não superior a três linhas, dirigidos a instituições ou indivíduos que prestaram efetiva colaboração para o trabalho.

- **Anexos:** deverão ser incluídos apenas quando impres-cindíveis à compreensão do texto. Caberá aos editores julgar a necessidade de sua publicação.

- **Abreviaturas e siglas:** deverão ser utilizadas de forma padronizada, restringindo-se apenas àquelas usadas convencionalmente ou sancionadas pelo uso, acompanhadas do significado, por extenso, quando da primeira citação no texto. Não devem ser usadas no título e no resumo.

- **Referências de acordo com o estilo Vancouver**

Referências: devem ser numeradas consecutivamente, seguindo a ordem em que foram mencionadas a primeira vez no texto, baseadas no estilo *Vancouver*. Os artigos devem ter em torno de 30 referências, exceto no caso de artigos de revisão, que podem apresentar em torno de 50. A ordem de citação no texto obedecerá esta numeração. Nas referências com dois até o limite de seis autores, citam-se todos os autores; acima de seis autores, citam-se os seis primeiros autores, seguido de *et al.* As abreviaturas dos títulos dos periódicos citados deverão estar de acordo com o *Index Medicus*.

- **Citações bibliográficas no texto:** deverão ser colocadas em ordem numérica, em algarismos arábicos, meia linha acima e após a citação, e devem constar da lista de

referências. Se forem dois autores, citam-se ambos ligados pelo "&"; se forem mais de dois, cita-se o primeiro autor, seguido da expressão *et al.* A exatidão e a adequação das referências a trabalhos que tenham sido consultados e mencionados no texto do artigo são de responsabilidade do autor.

Livros

Peña M, Bacallao J, editores. La obesidad en la pobreza: un nuevo reto para salud pública. Washington (DC): Organización Mundial de la Salud; 2000.

Capítulos de livros

Monteiro CA. La transición epidemiológica en el Brasil. In: Peña M, Bacallao J, editores. La obesidad en la pobreza: un nuevo reto para salud pública. Washington (DC): Organización Mundial de la Salud; 2000.

Artigos de periódicos

Dutra de Oliveira JE, Marchini JS. Nutritional sciences in Brazil: the pioneer work of institutions and scientists. *Nutrition*. 2004; 20(2):174-6.

Dissertações e teses

Moutinho AE. Representações sociais na manutenção do peso corporal. O que e quem o discurso revela [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2003.

Trabalhos apresentados em congressos, simpósios, encontros, seminários e outros

Moreira EAM, Fagundes RLM, Faccin GL, Couto MM, Torres MA, Wilhelm Filho D. The effect of alcohol ingestion during lactation on oxidative stress. In: Annals of the 17th International Congress of Nutrition & Metabolism; 2001 Aug; Austria, Vienna; 2001. Abstract 6.06.135.

Material Eletrônico: Periódicos eletrônicos, artigos

Boog MCF. Construção de uma proposta de ensino de nutrição para curso de enfermagem. *Rev Nutr [periódico eletrônico]* 2002 [citado em 2002 Jun 10];15(1). Disponível em: <http://www.scielo.br/rn>

Texto em formato eletrônico

World Health Organization. Micronutrient deficiencies: battling iron deficiency anaemia [cited 2002 Nov 11]. Available from: <http://www.who.int/nut/ida.htm>

Programa de computador

Dean AG, *et al.* *Epi Info* [computer program]. Version 6: a word processing, database, and statistics program for epidemiology on micro-computers. Atlanta, Georgia: Centers of Disease Control and Prevention; 1994.

Para outros exemplos recomendamos consultar as normas do *Committee of Medical Journals Editors* (Grupo Vancouver) (<http://www.icmje.org/>).

Lista de Checagem

- Declaração de responsabilidade e transferência de Direitos Autorais assinada por cada autor
Enviar ao editor quatro vias do manuscrito;
- Incluir título do manuscrito, em português e inglês;
- Verificar se o texto, incluindo resumos, tabelas e referências está reproduzido com letras *Times New Roman*, corpo 12 e espaço duplo, e margens de 3 cm;
- Incluir título abreviado (short title), com 40 caracteres, para fins de legenda em todas as páginas impressas;
- Incluir resumos estruturados para trabalhos e narrativos, para manuscritos que não são de pesquisa, com até 150 palavras nos dois idiomas português e inglês, ou em espanhol, nos casos em que se aplique, com termos de indexação;
- Legenda das figuras e tabelas;
- Página de rosto com as informações solicitadas;
- Incluir nome de agências financiadoras e o número do processo;
- Indicar se o artigo é baseado em tese/dissertação, colocando o título, o nome da instituição, ano de defesa e número de páginas;
- Verificar se as referências estão normalizadas segundo estilo *Vancouver*, ordenadas na ordem em que foram mencionadas a primeira vez no texto e se todas estão citadas no texto
Incluir permissão de editores para reprodução de figuras ou tabelas publicadas;
- Parecer do Comitê de Ética da Instituição, para pesquisa com seres humanos;

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE E TRANSFERÊNCIA DE DIREITOS AUTORAIS

Cada autor deve ler e assinar os documentos (1) Declaração de Responsabilidade e (2) Transferência de Direitos Autorais.

Primeiro autor:

Autor responsável pelas negociações:

Título do manuscrito:

1. Declaração de responsabilidade: todas as pessoas relacionadas como autores devem assinar declarações de responsabilidade nos termos abaixo:

- certifico que participei da concepção do trabalho para tornar pública minha responsabilidade pelo seu conteúdo, que não omiti quaisquer ligações ou acordos de financiamento entre os autores e companhias que possam ter interesse na publicação deste artigo;

- certifico que o manuscrito é original e que o trabalho, em parte ou na íntegra, ou qualquer outro trabalho com conteúdo substancialmente similar, de minha autoria, não foi enviado a outra Revista e não o será, enquanto sua publicação estiver sendo considerada pela Revista de Nutrição, quer seja no formato impresso ou no eletrônico, exceto o descrito em anexo.

Assinatura do(s) autores(s) Data / /

2. Transferência de Direitos Autorais: "Declaro que, em caso de aceitação do artigo, a Revista de Nutrição passa a ter os direitos autorais a ele referentes, que se tornarão propriedade exclusiva da Revista, vedado a qualquer reprodução, total ou parcial, em qualquer outra parte ou meio de divulgação, impressa ou eletrônica, sem que a prévia e necessária autorização seja solicitada e, se obtida, farei constar o competente agradecimento à Revista".

Assinatura do(s) autores(s) Data / /

ANEXO 2

FOOD RESEARCH INTERNATIONAL

Guide for Authors

Submission of Papers

Submission for all types of manuscripts to *Food Research International* proceeds totally online. Via the Elsevier Editorial System (EES) website for this journal, <http://ees.elsevier.com/foodres>, you will be guided step-by-step through the creation and uploading of the various files. When submitting a manuscript via EES, authors need to provide an electronic version of their manuscript. For this purpose only original source files are allowed, so PDF files are not permitted. Once the uploading is done, the system automatically generates an electronic proof, which is then used for reviewing. All correspondence, including the Editor's decision and request for revisions, will be by e-mail. Authors may send queries concerning the submission process, manuscript status, or journal procedures to authorsupport@elsevier.com. Questions regarding content of a proposed submission can be directed to: foodresearchinternational@gmail.com. Authors are requested to submit, with their manuscripts, the names and addresses of 2-3 potential referees.

It is the author's responsibility to ensure that papers are written in clear and comprehensible English. Authors whose native language is not English are strongly advised to have their manuscripts checked by an English-speaking colleague prior to submission. English language help service: Upon request, Elsevier will direct authors to an agent who can check and improve the English of their paper (before submission). Please contact authorsupport@elsevier.com for further information.

Submission of a paper implies that it has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that if accepted it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, without the written consent of the publisher.

All papers are independently peer-reviewed.

Types of Contributions

Original research papers; review articles; viewpoints; letters to the Editor; book reviews.

1. *Research papers* - original full-length research papers which have not been published previously, except in a preliminary form, and should not exceed 10,000 words (including allowance for tables and illustrations).

2. *Review articles* - will be accepted in areas of topical interest, will normally focus on literature published over the previous five years, and should not exceed 15,000 words (including allowance for tables and illustrations).

3. *Viewpoints* - Authors may submit viewpoints of about 1200 words on any subject covered by the Aims and Scope.

4. *Letters to the Editor* - Letters are published from time to time on matters of topical interest.

Manuscript Preparation

General: Manuscripts must be typewritten, double-spaced with wide margins on one side of white paper. A font size of 12 or 10 pt is required. The corresponding author should be identified (an e-mail address is mandatory). Full postal addresses must be given for all co-authors. Authors should consult a recent issue of the journal for style if possible. The Editors reserve the right to adjust style to certain standards of uniformity. Authors should retain a copy of their manuscript since we cannot accept responsibility for damage or loss of papers. Original manuscripts are discarded one month after publication unless the Publisher is asked to return original material after use.

Abstracts: Each paper should be provided with an Abstract not exceeding 150 words, reporting concisely on the purpose and results of the paper.

Text: Follow this order when typing manuscripts: Title (where the title exceeds 70 characters, a suggestion for an abbreviated running head should be given), Authors, Affiliations, Abstract, Keywords (a list of keywords should be given, which includes all the main topics incorporated in the paper, including any already given in the title), Main text, Acknowledgements, Appendix, References, Vitae, Figure Captions and then Tables. Do not import the Figures or Tables into your text. Other than the cover page, every page of the manuscript, including the title page, should be numbered. It is also required that each line on the page should also be numbered. The corresponding author should be identified with an asterisk and footnote. All other footnotes (except for table footnotes) should be identified with superscript Arabic numbers.

Units: The SI system should be used for all scientific and laboratory data; if, in certain circumstances, it is necessary to quote other units, these should be added in parentheses.

Temperatures should be given in degrees Celsius. The unit billion (10^9 in America, 10^{12} in Europe) is ambiguous and should not be used.

References: All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. In the text refer to the author's name (without initials) and year of publication (e.g. "Steventon, Donald and Gladden (1994) studied the effects..." or "...similar to values reported by others (Anderson, Douglas, Morrison & Weiping, 1990)..."). For 2-6 authors all authors are to be listed at first citation. At subsequent citations use first author et al.. When there are more than 6 authors, first author et al. should be used throughout the text. The list of references should be arranged alphabetically by authors' names and should be as full as possible, listing all authors, the full title of articles and journals, publisher and year. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of authors' names and dates are exactly the same in the text as in the reference list.

References should be given in the following form:

Keith, W. D., Harris, L. J., Hudson, L., & Griffiths, M. W. (1997). Pulsed electric fields as a processing alternative for microbial reduction in spice. *Food Research International*, 30 (3-4), 185-191.

Hubbard, M. R. (1990). *Statistical quality control for the food industry*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Singh, H. (1995). Heat-induced changes in casein including interactions with whey proteins. In P. F. Fox, *Heat-induced changes in milk*, (2nd ed.) (pp. 86-104). Brussels: International Dairy Federation.

Citing and listing of web references. As a minimum, the full URL should be given. Any further information, if known (author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Illustrations

Photographs, charts and diagrams are all to be referred to as "Figure(s)" and should be numbered consecutively in the order to which they are referred. They should accompany the manuscript, but should not be included within the text. All illustrations should be clearly marked with the figure number and the author's name. All figures are to have a caption. Captions should be supplied on a separate sheet. Tables should be numbered consecutively and given a suitable caption and each table typed on a separate sheet. Footnotes to tables should be typed below the table and should be referred to by superscript lowercase letters. No

vertical rules should be used. Tables should not duplicate results presented elsewhere in the manuscript (e.g. in graphs).

If, together with your accepted article, you submit usable colour figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in colour on the web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in colour in the printed version. For colour reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please note: Because of technical complications which can arise by converting colour figures to 'grey scale' (for the printed version should you not opt for colour in print) please submit in addition usable black and white prints corresponding to all the colour illustrations. As only one figure caption may be used for both colour and black and white versions of figures, please ensure that the figure captions are meaningful for both versions, if applicable.

Preparation of electronic illustrations

Submitting your artwork in an electronic format helps us to produce your work to the best possible standards, ensuring accuracy, clarity and a high level of detail.

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Save text in illustrations as "graphics" or enclose the font.
- Only use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Helvetica, Times, Symbol.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files, and supply a separate listing of the files and the software used.
- Provide all illustrations as separate files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Produce images near to the desired size of the printed version.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://authors.elsevier.com/artwork>. **You are urged to visit this site.**

Preparation of Supplementary Data

Elsevier now accepts electronic supplementary material (e-components) to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the Author additional possibilities to publish supporting applications, movies, animation sequences, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>. In order to ensure that your submitted

material is directly usable, please ensure that data is provided in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the final version of the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at the Author Gateway at <http://authors.elsevier.com/artwork>

Proofs

When your manuscript is received at the Publisher it is considered to be in its final form. Proofs are not to be regarded as 'drafts'. One set of page proofs in PDF format will be sent by e-mail to the corresponding author, to be checked for typesetting/editing. No changes in, or additions to, the accepted (and subsequently edited) manuscript will be allowed at this stage. Proofreading is solely your responsibility. A form with queries from the copy editor may accompany your proofs. Please answer all queries and make any corrections or additions required. The Publisher reserves the right to proceed with publication if corrections are not communicated. Return corrections within two working days of receipt of the proofs. Should there be no corrections, please confirm this. Elsevier will do everything possible to get your article corrected and published as quickly and accurately as possible. In order to do this we need your help. When you receive the (PDF) proof of your article for correction, it is important to ensure that all of your corrections are sent back to us in one communication. Subsequent corrections will not be possible, so please ensure your first sending is complete. Note that this does not mean you have any less time to make your corrections, just that only one set of corrections will be accepted. Return proofs by e-mail to proofcorrections@elsevier.com

Electronic Offprints (e-offprints)

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. The PDF is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use. Copies of the issue can be ordered at a specially reduced rate using the order form sent to the corresponding author after the manuscript has been accepted.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to transfer copyright (for more information on copyright see <http://authors.elsevier.com>.)/ This transfer will ensure the widest possible dissemination of information. A letter will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript. A form facilitating transfer of copyright will be provided. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain

written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: contact Elsevier, Global Rights Department, P.O. Box 800, Oxford, OX5 1DX, UK; phone: (+44) 1865 843830, fax: (+44) 1865 853333, e-mail: permissions@elsevier.com

Author Enquiries

Authors can keep a track on the progress of their accepted article, and set up e-mail alerts informing them of changes to their manuscript's status, by using the "Track a Paper" feature of Elsevier's Author Gateway. Other questions or queries will also be dealt with via the website <http://authors.elsevier.com/> Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, are provided when an article is accepted for publication. *Food Research International* carries no page charges