

QUALIDADE NUTRICIONAL E ESCORE QUÍMICO DE AMINOÁCIDOS DE DIFERENTES FONTES PROTÉICAS¹

Christiano Vieira PIRES², Maria Goreti de Almeida OLIVEIRA^{3,*},
José César ROSA⁴, Neuza Maria Brunoro COSTA⁵

RESUMO

As proteínas são moléculas essenciais para aos organismos animais, devendo, portanto, estar presentes na alimentação em quantidades adequadas. Além do aspecto quantitativo deve-se levar em conta o aspecto qualitativo, isto é, seu valor nutricional, que dependerá de sua composição, digestibilidade, biodisponibilidade de aminoácidos essenciais, ausência de toxicidade e de fatores antinutricionais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a digestibilidade *in vivo*, o escore químico de aminoácidos (EQ) e o escore químico de aminoácido corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) das seguintes fontes de proteína: carne de rã sem osso, carne de rã com osso, carne de rã mecanicamente separada (CMS), carne bovina, ovo em pó, caseína, trigo, milho, soja convencional, soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e de lipoxigenases (soja KTI-LOX-), proteína texturizada de soja (PTS) e feijão. As proteínas de origem animal apresentaram maiores valores de digestibilidade que as de origem vegetal. Carne de rã sem osso apresentou a proteína com maior digestibilidade protéica de todas as proteínas estudadas, não diferindo, entretanto, da caseína, CMS, carne bovina e rã com osso. Das proteínas de origem animal, a do ovo em pó foi aquela que apresentou menor digestibilidade protéica. Nenhuma das proteínas de origem animal apresentou aminoácidos essenciais limitantes quando comparadas com o padrão da FAO/WHO. Feijão, soja convencional, soja KTI-LOX- e PTS, tiveram os aminoácidos sulfurados (metionina+cisteína) como limitantes. Enquanto que para trigo e milho, o aminoácido mais limitante foi a lisina. Soja KTI-LOX- e PTS apresentaram valores de PDCAAS superiores aos da soja convencional, mostrando uma possível elevação na qualidade protéica da soja melhorada geneticamente e da soja processada.

Palavras-chave: qualidade protéica, digestibilidade, PDCAAS, aminoácidos essenciais.

SUMMARY

NUTRITIONAL QUALITY AND CHEMICAL SCORE OF AMINO ACIDS FROM DIFFERENT PROTEIN SOURCES. Proteins are essential for animals, therefore, they must be present in diet, in appropriate amounts. Besides the quantitative aspect, the qualitative aspect should be taken into account, i.e. its nutritional value, which will depend on its composition, digestibility, bioavailability of essential amino acids, absence of toxicity, and of antinutritional factors. The purpose of this work was to evaluate the digestibility *in vivo*, the chemical score of amino acids (EQ), and the protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) of the following protein resources: frog meat without bone, frog meat with bone, mechanically separated frog meat (CMS), beef meat, egg powder, casein, wheat, corn, conventional soybean, Kunitz trypsin inhibitor and lipoxigenase free soybean (KTI-LOX- soybean), textured soybean protein (PTS) and beans. Animal proteins presented higher digestibility values than those from vegetables. Frog meat without bone was the protein with the highest protein digestibility of all proteins studied, not differing from casein, CMS, beef and frog meat with bone. Comparing animal proteins, the one of egg powder was the one which presented the lowest digestibility. No animal protein presented essential limiting amino acids when compared to those of FAO/WHO. Beans, conventional soybean, KTI-LOX- soybean and PTS presented sulfurized amino acids (methionine+cysteine) as limiting ones. Whereas for wheat and corn, the most limiting amino acid was lysine. KTI-LOX- soybean presented higher PDCAAS values than those of conventional soybean, presenting a possible increase in genetically improved soybean and processed soybean protein quality.

Keywords: protein quality, digestibility, PDCAAS, essential amino acids.

1 - INTRODUÇÃO

Ao se fazer a recomendação de proteína para diferentes grupos populacionais [13], além da composição aminoacídica (SARWAR *et al.*, 1997) [28], devem ser consideradas a quantidade total de nitrogênio e a digestibilidade da mistura protéica. Uma mistura protéica de

boa qualidade ou de alto valor biológico é aquela que fornece boa digestibilidade, quantidades adequadas de aminoácidos essenciais e de nitrogênio total.

Segundo BLANCO & BRESSANI [4], a qualidade da proteína refere-se à sua capacidade de satisfazer os requerimentos nutricionais do homem por aminoácidos essenciais e nitrogênio não-essencial, para fins de síntese protéica.

A digestibilidade é a medida da porcentagem das proteínas que são hidrolisadas pelas enzimas digestivas e absorvidas pelo organismo na forma de aminoácidos ou de qualquer outro composto nitrogenado. Trata-se de um determinante da qualidade protéica da dieta. Quando certas ligações peptídicas não são hidrolisadas no processo digestivo, parte da proteína é excretada nas fezes ou transformada em produtos do metabolismo pelos microorganismos do intestino grosso [30].

¹Recebido para publicação em 7/6/2005. Aceito para publicação em 23/1/2006 (001542)

²Engenheiro de alimentos, é doutor em Bioquímica Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)

³DS, é professora do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da UFV

CEP 36571-000 – Viçosa (MG)

E-mail: malmeida@ufv.br

⁴Ph.D, é professor do Departamento de Biologia Celular e Molecular da USP-Ribeirão Preto

⁵Ph.D, é professora do Departamento de Nutrição e Saúde da UFV

*A quem a correspondência deve ser enviada

Ao se determinar o valor protéico de uma mistura de alimentos deve ser levado em consideração o cálculo químico, o teor total de nitrogênio e a digestibilidade [17]. Ao lado das fontes de proteína animal, classicamente consideradas como de alto valor biológico, tem sido demonstrado que misturas de vegetais, como de um cereal e de uma leguminosa, também resultam em misturas protéicas de alto valor biológico [20]. No Brasil, a principal fonte protéica da alimentação é derivada da ingestão de arroz e feijão [27]. Esta mistura tem adequado teor nitrogenado, supre os aminoácidos essenciais e tem digestibilidade ao redor de 80%.

A composição de aminoácidos de uma proteína, determinada por análise química, é comparada com a de um padrão de aminoácido referência obtendo-se o escore químico de aminoácidos (EQ). O escore químico (EQ) é uma técnica química considerada rápida, consistente e barata. Ela mede o conteúdo de aminoácidos presentes em uma fonte de proteína e compara os valores com uma proteína tida como referência para crianças entre 2 e 5 anos de idade [12].

O valor obtido desta comparação é corrigido pela digestibilidade protéica, obtendo então, o escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) [29], que é uma medida atualmente aceita para avaliar a qualidade de proteína. O PDCAAS é definido como a relação entre o conteúdo do primeiro aminoácido limitante na proteína (mg/g) e o conteúdo daquele aminoácido em uma proteína de referência (mg/g), multiplicado pela digestibilidade verdadeira. O padrão de referência é a necessidade de aminoácidos essenciais para crianças entre 2 e 5 anos de idade, segundo [12].

Assim, a qualidade da proteína avaliada pelo escore químico é baseada no aminoácido essencial limitante, no qual valores maiores que 1,0 tanto para o EQ como para o PCDAAS indicam que a proteína é de boa qualidade, contendo os aminoácidos essenciais capazes de suprir as necessidades para a dieta de humanos.

O presente trabalho teve como objetivo determinar a digestibilidade *in vivo*, o PER (coeficiente de eficácia protéica), o NPR (razão protéica líquida), o teor de aminoácidos, o escore químico de aminoácidos (EQ) e o escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) de proteínas de alguns produtos de origem animal e vegetal. Além de verificar os efeitos do processamento e eliminação genética de inibidores de proteases de soja e dos métodos de obtenção da carne de rã na qualidade destas proteínas.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido nos laboratórios de Enzimologia do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (Bioagro), do Departamento de Nutrição e Saúde (DNS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Minas Gerais, e do Departamento de Biologia Celular e Molecular da USP-Ribeirão Preto (SP).

Foram utilizadas as seguintes fontes de proteína: caseína, carne de rã sem osso, carne de rã com osso, carne de rã mecanicamente separada (CMS), carne bovina, ovo em pó, trigo, milho, feijão, soja convencional, soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e lipoxigenases (soja KTI-LOX-) e proteína texturizada de soja (PTS).

2.1 - Preparo das amostras

Foi utilizada caseína comercial obtida da Rhoster Indústria e Comércio Ltda. A carne de rã sem osso foi obtida retirando-se, manualmente, a parte óssea. A carne de rã com osso foi conseguida triturando-se toda a rã sem a separação da parte óssea. Já a carne de rã mecanicamente separada (CMS) foi obtida pela separação da parte óssea por meio de máquina. As carnes de rã sem osso, com osso e CMS foram moídas e desidratadas. A carne bovina foi moída e desidratada. O ovo em pó foi conseguido por meio de liofilização. O trigo e o milho foram adquiridos do comércio de Viçosa (MG), na forma de farinha de trigo e fubá, respectivamente.

O feijão utilizado foi o da variedade pérola, cozido por 40 min em panela de pressão, seco em estufa e moído. Soja convencional e linhagem de soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e lipoxigenases (soja KTI-LOX-) foram submetidas a tratamento térmico em calor seco de 89°C por 5 min. Após a remoção das cascas, os grãos foram moídos e transformados em farinha de soja. A proteína texturizada de soja (PTS) foi conseguida em comércio de Viçosa (MG), sendo, entretanto moída para obtenção de uma farinha.

2.2 - Determinação do teor de proteínas

A determinação do teor de proteína foi feita pelo método semimicro Kjeldhal, segundo a ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS [2]. No cálculo de conversão do nitrogênio em proteínas, foi utilizado o fator 6,25.

2.3 - Ensaio biológico

Foram preparadas uma dieta aprotéica, uma dieta de caseína (padrão) e as dietas-testes, cujas fontes protéicas foram carne de rã sem osso, carne de rã com osso, carne de rã mecanicamente separada (CMS), carne bovina, ovo em pó, trigo, milho, soja convencional, soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e de lipoxigenases (soja KTI-LOX-), proteína texturizada de soja (PTS) e feijão, conforme apresentado no *Quadro 1*.

A composição das dietas foi baseada na AIN-93G, segundo REEVES *et al.* [25], com o teor de proteínas alterado para 9 a 10%. As dietas foram homogeneizadas em batadeira industrial da marca Lieme. Após o preparo, determinou-se o teor de proteína de cada dieta, pelo método semimicro Kjeldahl, usando o fator 6,25 para a obtenção do teor de proteína. As dietas foram acondicionadas em sacos de polietileno, devidamente rotulados e armazenados em refrigerador.

2.4 - Animais

Foram utilizados 54 ratos machos, raça wistar, recém-desmamados, com média de 23 dias de idade, peso variando de 50 a 60 g, provenientes do biotério do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCB) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os animais foram divididos em nove grupos com seis animais cada, de modo que a média dos pesos entre os grupos não excedesse a 5 g. Os ratos foram alocados em gaiolas individuais, onde receberam água e suas dietas *ad libitum*, por 14 dias. Os animais foram mantidos em condições de temperatura de $22 \pm 3^\circ\text{C}$, e o monitoramento do consumo alimentar foi feito semanalmente.

2.5 - Digestibilidade verdadeira

Para a determinação da digestibilidade, as dietas foram marcadas com indigocarmin na proporção de 100 mg/100 g e oferecidas aos animais no 7º e 13º dias. As fezes foram coletadas do 8º ao 14º dias em recipientes individuais para cada animal e mantidas sob refrigeração.

Ao término do experimento, as fezes foram secas em estufa com circulação de ar a 105°C por 24 h. Em seguida foram resfriadas, pesadas e trituradas em multiprocessador para determinação da concentração de nitrogênio, pelo método semimicro Kjeldahl, com amostras em triplicata [2].

A digestibilidade verdadeira foi calculada medindo a quantidade de nitrogênio ingerido na dieta, a excretada nas fezes e a perda metabólica nas fezes, que corresponde ao nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica. Esta última foi estimada pela quantidade de nitrogênio excretada pelos ratos alimentados com

a dieta livre de nitrogênio.

O cálculo da digestibilidade verdadeira (DV) foi feito de acordo com a seguinte equação:

$$(\%) \text{ Digestibilidade} = \frac{I - (F - FK) \times 100}{I}$$

I = Nitrogênio ingerido pelo grupo teste.

F = Nitrogênio fecal do grupo teste.

FK = Nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica.

2.6 - PER (Coeficiente de Eficácia Protéica)

O PER foi determinado por meio do método de Osborne, Mendel e Ferry, de acordo com a ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS [1]. Este método relaciona o ganho de peso dos animais com o consumo de proteína.

O PER foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{PER} = \frac{\text{ganho de peso do grupo teste (g)}}{\text{proteína consumida pelo grupo teste (g)}}$$

2.7 - NPR (Razão Protéica Líquida)

O NPR foi determinado, de acordo com BENDER & DOELL [3], no 14º dia do experimento, levando-se em consideração o ganho de peso do grupo teste, mais a perda de peso do grupo com dieta aprotéica em relação ao consumo de proteína do grupo teste.

QUADRO 1 – Formulação das dietas utilizadas no experimento com ratos (g/100 g de mistura)*

Ingredientes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Carne bovina ¹	11,62	-	-	-	-	-	-	-	-
Ovo em pó ¹	-	19,56	-	-	-	-	-	-	-
Trigo ¹	-	-	82,14	-	-	-	-	-	-
Milho ¹	-	-	-	86,58	-	-	-	-	-
Soja ¹	-	-	-	-	22,70	-	-	-	-
Soja KTI-LOX- ¹	-	-	-	-	-	23,75	-	-	-
PTS ¹	-	-	-	-	-	-	17,83	-	-
Caseína ²	-	-	-	-	-	-	-	11,65	-
Aprotéica									-
Mistura salínica (AIN-93G-MX) ^{2*}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Mistura vitamínica (AIN-93G-VX) ^{2*}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Óleo de soja ³	6,15	0,54	7,0	4,37	2,46	2,25	7	7	7
Bitartarato de colina ²	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Amido de milho (q.s.p 100) ³	48,98	46,64	0,80	0,00	41,59	40,75	41,92	48,1	59,75
L-cistina ²	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fibra alimentar (celulose) ²	5,00	5,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Amido de milho dextrinizado ²	13,2	13,2	0	0	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
Sacarose ³	10,0	10,0	0,0	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0

*Segundo REEVES *et al.* [25]. ¹Farinha produzida a partir das amostras analisadas. ²Obtido da Rhoster Indústria e Comércio Ltda. ³Obtido no comércio de Viçosa (MG). Os dados para: rã sem osso, rã com osso e CMS foram obtidos de FIDELES [10], realizados em nossos laboratórios. Os dados para feijão pérola foram obtidos de LUJAN [18], realizados em nossos laboratórios

O NPR foi calculado de acordo com a seguinte equação [14]:

$$\text{NPR} = \frac{\text{ganho de peso do grupo teste (g)} - \text{perda do grupo apteico (g)}}{\text{proteína consumida pelo grupo teste (g)}}$$

2.8 - Determinação e quantificação dos aminoácidos

A composição dos aminoácidos foi determinada em amostras previamente hidrolisadas com ácido clorídrico (HCl) bidestilado 6N, seguida de derivação pré-coluna dos aminoácidos livres com fenilisotiocianato (PITC), e a separação dos derivativos feniltiocarbamil-aminoácidos (PTC-aa) em coluna de fase reversa C18 (Pico-Tag - 3,9x150 mm) com monitoração em comprimento de onda em 254 nm. A quantificação da amostra foi baseada na área de cada pico de aminoácido, tomando-se como referência a área do pico do padrão de aminoácidos com concentração conhecida, sendo que o padrão foi derivado nas mesmas condições e ao mesmo tempo que as amostras.

2.9 - Determinação do escore químico corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS)

Para o cálculo do escore químico e do PDCAAS, os valores do conteúdo de aminoácidos foram expressos em mg de aminoácido por grama de proteína e comparados com o padrão da FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [12].

Para o cálculo do PDCAAS, foram utilizados os dados obtidos na determinação dos teores de nitrogênio, proteína, aminoácidos essenciais, escore de aminoácidos [12] e digestibilidade verdadeira.

Para o cálculo do PDCAAS, tomou-se por base o valor do escore químico do aminoácido essencial mais limitante de cada fonte de proteína. Calculou-se o PDCAAS multiplicando-se o escore mais baixo de aminoácido essencial pela digestibilidade da proteína. A proteína com PDCAAS igual ou superior a 1,0 foi considerada de boa qualidade [16].

2.10 - Delineamento estatístico

Procedeu-se à análise estatística (ANOVA) para determinação do valor de F. Para valores significativos, utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para comparação entre as médias.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Teor de proteínas

Os teores de proteína dos alimentos protéicos estudados estão apresentados na *Tabela 1*. Rã sem osso foi

a que apresentou o maior teor de proteínas diferindo de todas as demais. Carne bovina e caseína não diferiram entre si, assim como também não apresentaram diferença ($p > 0,05$) as amostras de rã com osso e rã mecanicamente separada. Soja convencional, com 41,85% de proteína, e soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e de lipoxigenases, com 40%, também apresentaram valores de proteína iguais em nível de 5% de probabilidade. MONTEIRO *et al.* [19] encontraram teores de proteína de 39,55 e 42,44% para variedades de soja convencional e soja (KTI-LOX), respectivamente. De todas as amostras estudadas a de milho foi aquela com menor teor de proteína (6,93%), diferindo das demais.

TABELA 1 – Teores de proteínas de alimentos protéicos avaliados

Fontes de proteína	Proteínas (g/100 g)
Carne de rã sem osso desidratada	84,55 a
Carne bovina desidratada	81,76 b
Caseína comercial	81,57 b
Rã com osso desidratada	66,28 c
Carne de rã mecanicamente separada desidratada	65,80 c
Proteína texturizada de soja	53,28 d
Ovo em pó (liofilizado)	48,56 e
Farinha de soja	41,85 f
Farinha de soja KTI-LOX-	40,00 f
Farinha de feijão pérola cozido e seco	20,30 g
Trigo (farinha de trigo)	11,56 h
Milho (fubá)	6,93 i

Os resultados são médias de triplicatas. Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

3.2 - Avaliação biológica das proteínas

A digestibilidade é o primeiro fator que reflete a eficiência da utilização protéica da dieta, portanto, pode ser considerada um condicionante de sua qualidade [7]. Os valores obtidos para a digestibilidade das amostras estudadas variaram entre 71,76% (soja convencional) e 93,37% (rã sem osso) (*Tabela 2*). A digestibilidade verdadeira encontrada para a rã sem osso foi superior que todas as demais estudadas, porém não diferiu ($p > 0,05$) dos valores encontrados para a digestibilidade da caseína (93,33%), CMS (92,57%), carne bovina (92,38%) e rã com osso (91,01%). ROMAN & SGARBIERI [26] se depararam com digestibilidade verdadeira de 93,78% para caseína comercial, bem próximo ao encontrado no presente trabalho.

Os resultados encontrados para carne de rã mostram que o processo de obtenção da carne, seja manual ou mecânico, não causou alteração nos valores de digestibilidade protéica, uma vez que não ocorreu diferença significativa entre os valores de digestibilidade das três fontes de carne de rã analisadas. Das proteínas de origem animal, a que apresentou menor digestibilidade foi a do ovo em pó (90,13%), não diferindo, porém, das digestibilidades de CMS (92,57%), carne bovina (92,38%), rã com osso (91,01%) e trigo (89,44%) (*Tabela 2*).

As proteínas de origem animal apresentaram maiores valores de digestibilidade verdadeira que as de origem vegetal (*Tabela 2*), possivelmente devido à ausência de fatores antinutricionais, os quais, sabidamente, contribuem para diminuir a digestibilidade em alimentos de origem vegetal. Segundo CASSIDY [6], fontes vegetais de proteína podem diferir de fontes animais nos parâmetros digestibilidade, composição de aminoácidos e presença de fatores antinutricionais. De acordo com BRESSANI [5], a maioria das proteínas de origem animal tem boa digestibilidade, implicando em uma absorção de aminoácidos de forma eficaz.

De todas as proteínas analisadas aquela que apresentou menor digestibilidade verdadeira foi a soja convencional (71,76%), não diferindo da soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e lipoxigenases, que apresentou 74,26% de digestibilidade. Isto mostra que a eliminação genética deste inibidor não levou a um aumento significativo na digestibilidade protéica (*Tabela 2*). Já a PTS, com uma digestibilidade protéica de 86,41%, portanto superior em nível de 5% de probabilidade aos valores encontrados para a soja convencional (71,76%) e soja KTI-LOX- (74,26%), mostrou que o processamento ao qual é submetido o farelo de soja para a obtenção da proteína texturizada resulta uma melhora da digestibilidade protéica. MONTEIRO *et al.* [19] encontraram digestibilidade verdadeira de 86,36% para variedade de soja convencional e de 90,59% para a soja isenta KTI-LOX-.

Uma possível explicação para as diferenças encontradas entre os valores de MONTEIRO *et al.* [19] e do presente trabalho pode estar no método de preparo das amostras, como tempo e temperatura utilizados para a remoção das cascas da soja. HERKELMAN *et al.* [15], estudando o efeito de cultivar (com teor normal x baixo teor de KTI) e do tratamento térmico sobre a digestibilidade aparente da proteína da soja em suínos, observaram que animais expostos a dietas com soja convencional apresentaram desempenho inferior a animais que receberam dietas com soja com baixo teor de KTI. Porém, um adequado tratamento

térmico é requerido para melhorar o valor nutricional de ambos os tipos de soja.

A digestibilidade verdadeira do trigo (89,44%) foi a maior encontrada entre as proteínas de origem vegetal, diferindo das outras proteínas vegetais. Entretanto, não diferiu das proteínas de origem animal - rã com osso e ovo em pó (*Tabela 2*). Isto mostra que do ponto de vista da digestibilidade protéica a qualidade nutricional das proteínas de trigo é equivalente às da carne de rã com osso e do ovo em pó.

Os valores encontrados para PER e PER relativo (RPER) estão apresentados na *Tabela 2*. A fonte protéica que apresentou maior valor de PER foi a carne bovina (4,96) diferindo de todas as demais, sendo inclusive superior ao padrão, que foi o da caseína cujo PER foi de 4,33. ROMAN & SGARBIERI [26] encontraram um valor de 3,36 para o PER de uma caseína comercial que tinha 91,98% de proteínas.

O PER relativo para carne bovina foi de 114,37% em relação à caseína, mostrando-se ser esta proteína a de melhor qualidade nutricional que todas as fontes estudadas. PIRES [23], estudando carne bovina originária de diferentes grupos genéticos, encontrou valores de PER entre 3,89 e 4,74 (98,06 e 119,34%, em relação à caseína). Das proteínas de origem animal, a do ovo em pó foi aquela com menor valor de PER (4,15), não apresentando diferença em relação ao PER da caseína (4,33) e da rã sem osso (4,43) (*Tabela 2*). A PTS com PER de 2,97 (68,48% de PER relativo) foi a que apresentou maior valor entre as proteínas vegetais, diferindo de todas as demais. Soja convencional e soja KTI-LOX- com valores de PER de 1,75 e 1,69 (40,35 e 39,06%, em relação à caseína), não apresentaram diferença (*Tabela 2*). O PER encontrado para as duas fontes protéicas foi inferior àquele encontrado para a PTS, evidenciado uma melhora na qualidade nutricional de proteínas de soja submetidas a tratamento térmico.

MONTEIRO *et al.* [19] encontraram valores de PER de 1,33 e 1,25 (35,37 e 33,24%) em relação à caseína,

TABELA 2 – Médias da digestibilidade protéica *in vivo*, PER, RPER, NPR e RNPR das proteínas das dietas oferecidas aos ratos

Fontes de Proteína	Digestibilidade verdadeira (%)	PER	RPER (%)	NPR	RNPR (%)
Caseína comercial	93,33 a	4,33 b	100,00	5,14 b	100,00
Rã sem osso desidratada	93,37a	4,43 b	102,31	4,99 b	97,02
Carne de rã mecanicamente separada desidratada	92,57 ab	3,75 c	86,60	4,27 cd	83,07
Carne bovina desidratada	92,38 ab	4,96 a	114,37	5,69 a	110,92
Rã com osso desidratada	91,01 abc	3,75 c	86,60	4,34 c	84,43
Ovo em pó (liofilizado)	90,13 bc	4,15 b	95,80	4,92 b	95,72
Trigo (farinha de trigo)	89,44 c	0,98 g	22,61	2,38 g	46,23
Proteína texturizada de soja	86,41d	2,97 d	68,48	4,14 cd	80,60
Milho (fubá)	82,38 e	0,68 h	15,59	3,89 d	75,79
Farinha de feijão pérola cozido e seco	78,70 f	2,12 e	48,96	3,36 e	65,365
Farinha de soja KTI-LOX-	74,26 g	1,69 f	39,06	2,87 f	55,96
Farinha de soja	71,76 g	1,75 f	40,35	2,91 f	56,59

Os resultados são médias de seis repetições. Médias seguidas de mesma letra, dentro da mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados para: rã sem osso, rã com osso e CMS foram obtidos de estudos realizados em nosso laboratório por FIDELES (2004). Os dados para feijão pérola foram obtidos de estudos realizados em nosso laboratório por LUJAN (2004)

para variedades de soja convencional e de soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e lipoxigenases, respectivamente. Tanto MONTEIRO *et al.* [19] como os dados do presente trabalho, verificaram valores ligeiramente maiores de PER para soja convencional que para soja KTI-LOX-, embora estes resultados não tenham sido significativos para nenhum dos trabalhos.

O milho apresentou menor PER (0,68), diferindo do PER encontrado para todas as outras fontes protéicas estudadas (Tabela 2). Os valores de NPR variaram entre 2,38 e 5,69 (46,23 e 110,92% em relação à caseína). A carne bovina foi a que apresentou maior valor diferindo de todas as demais e apresentando um NPR relativo de 110,92%. PIRES (2003) encontrou valores de NPR entre 4,80 e 5,65 (101 e 118,9%, em relação à caseína) estudando carne bovina proveniente de diferentes grupos genéticos submetidos a diferentes dietas.

Caseína, rã sem osso e ovo em pó, com valores de NPR de 5,14, 4,99 e 4,92, respectivamente, não apresentaram diferença entre si (Tabela 2). Dentre as proteínas de origem vegetal, a proteína texturizada de soja foi a que apresentou maior valor de NPR (4,14) não diferindo, entretanto, do NPR encontrado para o milho (3,89). Os valores de NPR relativos para a PTS e para o milho foram de 80,6 e 75,79% em relação ao padrão caseína. Soja convencional e soja KTI-LOX-, com valores de NPR de 2,91 e 2,87 (56,59 e 55,06% em relação à caseína), também não diferiram entre si. MONTEIRO *et al.* encontraram valores de NPR de 2,21 e 2,34 (49,77 e 52,7% em relação à caseína) para variedades de soja convencional e soja KTI-LOX-, respectivamente. A fonte protéica com menor valor de NPR foi o trigo, com um NPR de 46,23% em relação ao padrão caseína, diferindo de todas as outras.

3.3 - Escore químico de aminoácidos (EQ) e escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS)

Os valores obtidos para a composição dos aminoácidos essenciais das proteínas estudadas (Tabela 3) foram divididos pelos valores recomendados pela FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION [12], e o resultado, denominado escore químico de aminoácido (Tabela 4), permitiu determinar os aminoácidos limitantes em cada fonte de proteína. Uma proteína que apresenta escore químico maior que o valor 1,0 para todos os aminoácidos é considerada de alto valor nutricional. E o aminoácido que apresentar escore químico menor que 1,0 é chamado aminoácido limitante.

Das proteínas estudadas as de origem animal não apresentaram aminoácidos limitantes (Tabela 4), sendo, portanto, todas de alto valor nutricional, possuindo a capacidade dietética de suprir o organismo humano com níveis adequados de aminoácidos essenciais. Já as proteínas de origem vegetal, todas apresentaram um ou mais aminoácidos essenciais com EQ menor que 1,0 (Tabela 4). Feijão, soja, soja KTI-LOX- e PTS, apresentaram os aminoácidos sulfurados (metionina+cisteína,) como limitantes.

Soja KTI-LOX-, com um escore de aminoácidos sulfurados de 0,86, mostrou um ligeiro aumento no teor destes aminoácidos comparados com o escore de 0,75 para os aminoácidos sulfurados da soja convencional (Tabela 4). Isto mostra que o melhoramento genético para a retirada do inibidor de tripsina Kunitz e das lipoxigenases de certa forma levou a uma melhora no perfil aminoacídico da soja.

Já a PTS e a soja convencional apresentaram (Tabela 4) o mesmo escore químico de aminoácidos sulfurados (0,75). Como a PTS foi adquirida em um supermercado, e sua origem possivelmente de variedades de soja convencional, o seu perfil de aminoácidos é bem similar ao da variedade de soja convencional estudada neste trabalho.

Trigo e milho tiveram como limitantes os seguintes aminoácidos essenciais, isoleucina, lisina, metionina+cisteína, treonina e valina, sendo as fontes protéicas mais deficientes em aminoácidos essenciais (Tabela 4), e, portanto, as de menor valor nutricional. Tanto trigo como milho apresentaram a lisina como aminoácido mais limitante, com um escore químico de 0,45. ONYANGO *et al.* [21] verificaram que a lisina é o aminoácido limitante da proteína de milho, encontrando um teor deste aminoácido de 32 mg/g de proteína, ligeiramente superior ao encontrado neste trabalho que foi de 25,96 mg/g de proteína. Esses valores são inferiores ao recomendado pela FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION [12], que é de 58 mg de lisina por grama de proteína (Tabela 3). Segundo PAREDES-LOPEZ *et al.* [22], a proteína do milho é de baixa qualidade, pois é deficiente nos aminoácidos essenciais lisina e triptofano.

Os resultados do escore químico corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) para as amostras estudadas de proteínas vegetais, encontram-se na Tabela 5. Para as proteínas de origem animal, as quais não apresentaram aminoácido limitante, não foi determinado o valor de PDCAAS. O milho foi o que apresentou menor PDCAAS, com um valor de 37,07% seguido pelo trigo, com PDCAAS de 40,25%, sendo que o aminoácido limitante para as duas fontes foi a lisina (Tabela 5).

O trigo, ao ser avaliado por meio da digestibilidade, se mostrou uma fonte de boa qualidade protéica, como uma digestibilidade verdadeira de 89,44%, não diferindo, estatisticamente, dos valores de digestibilidade verdadeira encontrada para as proteínas de origem animal - rã com osso (91,01%) e ovo em pó (90,13%) (Tabela 2). Entretanto, ao ser determinado seu PDCAAS, pode-se verificar que se trata de uma fonte protéica de baixa qualidade, pois apresenta vários aminoácidos essenciais limitantes e um PDCAAS para a lisina de 40,25%.

A soja convencional, soja KTI-LOX- e PTS apresentaram os seguintes valores de PDCAAS: 53,82%, 64,29% e 64,81%, respectivamente, sendo os aminoácidos sulfurados (metionina+cisteína) os limitantes (Tabela 5). Soja KTI-LOX- e PTS tiveram valores mais elevados de PDCAAS que a variedade de soja convencional, evidenciando que o melhoramento genético (soja KTI-LOX-) e o processamento

(PTS) levaram a uma melhora na qualidade nutricional das proteínas de soja (Tabela 5).

O tratamento térmico é uma alternativa utilizada para melhorar a qualidade nutricional de produtos a base de soja [24]. Outra alternativa para diminuir ou mesmo eliminar os efeitos de fatores antinutricionais e aumentar a qualidade nutricional da soja tem sido o desenvolvimento de novas linhagens com ausência de inibidor de tripsina e de lectina [9].

MONTEIRO *et al.* [19] encontraram como limitante o aminoácido lisina com PDCAAS de 75 e 78% para as variedades de soja convencional e soja (KTI-LOX-), respectivamente.

Entre as proteínas de origem vegetal, o feijão, que também teve como limitante os aminoácidos sulfurados, apresentou um valor de PDCAAS de 62,96%, se mostrando de melhor qualidade protéica que a soja convencional (Tabela 5). Segundo CRUZ *et al.* [8], um dos maiores problemas do feijão é representado pelo baixo valor nutricional de suas proteínas, decorrente, por um lado, da sua baixa digestibilidade e, de outro, dos reduzidos teores e biodisponibilidade de aminoácidos sulfurados. Estes dois fatores contribuem, portanto, para um PDCAAS inferior a 1,0 para os aminoácidos sulfurados de proteínas de feijão.

TABELA 3 – Composição de aminoácidos essenciais das proteínas estudadas

Aminoácidos essenciais	mg aminoácido/g proteína												
	Rã sem osso	Rã com osso	Rã CMS	Ovo em pó	Carne bovina	Caseína	Feijão	Trigo	Milho	Soja	Soja KTI-LOX-	PTS	Padrão FAO/WHO 2 a 5 anos
Phe+Tyr	76,64	75,14	84,11	98,64	83,86	109,71	113,08	92,85	98,92	96,99	120,36	96,77	63
His	33,38	32,91	30,28	22,12	38,10	18,99	28,55	23,41	31,83	32,88	36,14	29,85	19
Ile	28,60	33,11	35,38	34,64	39,43	46,91	31,39	23,81	23,35	45,71	37,36	34,85	28
Leu	68,55	68,30	74,45	83,90	92,24	93,05	78,28	81,48	134,78	81,34	94,32	76,70	66
Lys	111,31	95,28	91,77	91,44	95,28	78,66	94,36	25,87	25,96	82,69	89,65	86,74	58
Met+Cys	30,83	27,23	27,82	40,05	35,59	30,14	19,95	18,12	22,21	18,65	21,41	18,73	25
Thr	52,02	49,47	50,12	53,50	48,23	43,22	47,72	24,67	30,36	51,34	55,76	40,78	34
Trp	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11
Val	38,02	39,91	39,91	47,52	43,00	54,95	40,81	27,89	27,34	48,16	40,30	36,48	35

nd – não determinado

TABELA 4 – Escore químico de aminoácidos das proteínas estudadas

Aminoácidos essenciais	Escore de Aminoácido (mg/g proteína amostra)/(mg/g proteína Padrão FAO/WHO)											
	Rã sem osso	Rã com osso	Rã CMS	Ovo em pó	Carne bovina	Caseína	Feijão	Trigo	Milho	Soja	Soja KTI-LOX-	PTS
Phe+Tyr	1,22	1,19	1,34	1,57	1,33	1,74	1,79	1,47	1,57	1,54	1,91	1,54
His	1,76	1,73	1,59	1,16	2,01	1,00	1,50	1,23	1,68	1,73	1,90	1,57
Ile	1,02	1,18	1,26	1,24	1,41	1,68	1,12	0,85	0,83	1,63	1,33	1,24
Leu	1,04	1,03	1,13	1,27	1,40	1,41	1,19	1,23	2,04	1,23	1,43	1,16
Lys	1,92	1,64	1,58	1,58	1,64	1,36	1,63	0,45	0,45	1,43	1,55	1,50
Met+Cys	1,23	1,09	1,11	1,60	1,42	1,21	0,80	0,72	0,89	0,75	0,86	0,75
Thr	1,53	1,46	1,47	1,57	1,42	1,27	1,40	0,73	0,89	1,51	1,64	1,20
Trp	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Val	1,09	1,14	1,14	1,36	1,23	1,57	1,17	0,80	0,78	1,38	1,15	1,04

nd – não determinado

TABELA 5 – Escore químico de aminoácidos corrigido pela digestibilidade protéica (PDCAAS) das proteínas estudadas

Aminoácidos essenciais	Escore químico					
	Feijão	Trigo	Milho	Soja	Soja KTI-LOX-	PTS
Phe+Tyr	1,79	1,47	1,57	1,54	1,91	1,54
His	1,50	1,23	1,68	1,73	1,90	1,57
Ile	1,12	0,85	0,83	1,63	1,33	1,24
Leu	1,19	1,23	2,04	1,23	1,43	1,16
Lys	1,63	0,45	0,45	1,43	1,55	1,50
Met+Cys	0,80	0,72	0,89	0,75	0,86	0,75
Thr	1,40	0,73	0,89	1,51	1,64	1,20
Trp	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Val	1,17	0,8	0,78	1,38	1,15	1,04
PDCAAS ¹	0,6296	0,4025	0,3707	0,5382	0,6429	0,6481

¹PDCAAS – 1º aminoácido limitante x digestibilidade verdadeira da proteína, obtida em experimento com ratos. Digestibilidade verdadeira – Feijão=78,7; Trigo=89,44; Milho=82,38; Soja=71,76; Soja (KTI-LOX-)=74,26; PTS=86,41. nd – não determinado

4 - CONCLUSÕES

As proteínas de origem animal apresentaram os maiores valores de digestibilidade verdadeira que as de origem vegetal. A carne de rã sem osso não diferiu ($p < 0,05$) quanto à digestibilidade da proteína da carne de rã com osso e da carne de rã mecanicamente separada (CMS), mostrando que o processo de obtenção da carne de rã não interferiu na digestibilidade protéica verdadeira.

Das proteínas de origem animal, o ovo em pó foi aquela que apresentou menor digestibilidade protéica, sendo que a carne de rã sem osso, a carne de rã com osso, a carne de rã mecanicamente separada (CMS), carne bovina e a caseína não apresentaram diferença significativa.

A proteína texturizada de soja apresentou valor de digestibilidade protéica superior ($p < 0,05$) aos da soja convencional e da soja isenta de inibidor de tripsina Kunitz e de lipoxigenases, evidenciando melhora na digestibilidade da proteína de produtos à base de soja, submetidos a processamento térmico. Com relação aos valores de PER e NPR, a soja convencional e a soja KTI-LOX-, não mostraram diferença. E o milho apresentou menor valor de PER que todas as fontes protéicas.

Nenhuma das proteínas de origem animal apresentou aminoácidos essenciais limitantes quando comparadas com o padrão da FAO/WHO.

O mecanismo de obtenção da carne de rã não causou limitação em nenhum dos aminoácidos essenciais, uma vez que cada uma das três fontes de carne de rã apresentou escore químico aminoacídico superior a 1,0 para todos os aminoácidos.

O feijão, a soja, a soja KTI-LOX- e a PTS tiveram os aminoácidos sulfurados (metionina+cisteína) como limitantes. Enquanto que para o trigo e o milho o aminoácido mais limitante foi a lisina. As proteínas do trigo e do milho foram as de mais baixa qualidade ao se avaliar o escore químico aminoacídico, pois tiveram como limitantes, além da lisina, os aminoácidos isoleucina, a metionina+cisteína, a treonina e a valina.

Ao ser avaliado por meio da digestibilidade, a proteína de trigo se mostrou de boa qualidade. Entretanto, ao serem analisados os valores de PER, NPR e PDCAAS, pode-se concluir que se trata de uma proteína de baixo valor biológico.

A soja KTI-LOX- e a PTS apresentaram valores de PDCAAS superiores aos da soja convencional, mostrando, portanto, uma melhora na qualidade protéica da soja melhorada geneticamente e da proteína de soja processada.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. Washington, 1.094 p., 1975.

[2] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHE-

MISTS. **Official methods of analysis**. 16th ed., Washington, 1995.

[3] BENDER, A.E. & DOELL, B.H. Note on the determination of net protein utilization by carcass analysis. **British Journal Nutrition**, v. 11; p. 138-143, 1957.

[4] BLANCO, A. & BRESSANI, R. Biodisponibilidad de aminoácidos in el frijol (*Phaseolus vulgaris*). **Archivos Latinoamericano de Nutrición**, v. 41, n. 1, p. 38-51, 1991.

[5] BRESSANI, R. Revisión sobre la calidad del grano de frijol. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 39, n. 3, p. 419-442, 1989.

[6] CASSIDY, A. Physiological effects of phyto-oestrogens in relation to cancer and other human health risks. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 55, p. 399-417, 1996.

[7] CHIARADIA, A.C.N. **Determinação da estrutura de pigmentos de feijão e estudo da sua ação na qualidade protéica**. Viçosa (MG), UFV. 1997. 107 p., Tese (doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

[8] CRUZ, G.A.D.R., OLIVEIRA, M.G.A., PIRES, C.V., GOMES, M.R.A., COSTA, N.M.B., BRUMANO, M.H.N., MOREIRA, M.A. Protein quality and *in vivo* digestibility of different varieties of bean (*Phaseolus vulgaris L.*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 157-162, 2003.

[9] DOUGLAS, M.E., PARSONS, C.M., HYMOWITZ, T. nutrition evaluation of lectin free soybeans for poultry. **Poultry Sci.**, 78:91-95, 1998.

[10] FIDELIS, I.C. **Qualidade protéica e biodisponibilidade de ferro e cálcio em carne de rã-touro (*Rana catesbeiana*, SHAW 1802)**. Viçosa (MG), UFV. 2004. 92 p., Tese (mestrado em Ciência da Nutrição) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

[11] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Energy and protein requirements**. Geneva, 724 p., 1985.

[12] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **INFORME DE UNA REUNIÓN CONSULTIVA CONJUNTA FAO/WHO/UNU DE EXPERTOS. Necesidades de energía y de proteínas**. Ginebra, 220 p., 1985.

[13] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION/WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Protein quality evaluation: report of a joint FAO/WHO expert consultation group**. Rome, FAO/WHO, 1990.

[14] HEGSTED, D.M. Protein quality and its determination. In: WHITAKER, J.R., TANNENBAUM, S.R. **Food proteins**. Westport, Connecticut, AVI, p. 347-362, 1977.

[15] HERKELMAN, K.L., CROMWELL, G.L., PFEIFFER, T.W., KNABE, D.A. Apparent digestibility of amino acids in raw and heated conventional and low trypsin inhibitor soybeans for pigs. **Journal of Animal Science**, 70:818-826, 1992.

[16] HENLEY, E.C. & KUSTER, J.M. Protein quality evaluation by protein digestibility corrected amino acid scoring. **Food Technology**, v. 4, p. 74-77, 1994.

[17] JOINT FAO/WHO/UNU EXPERT CONSULTATION ON ENERGY AND PROTEIN REQUIREMENTS. Rome, 1981. Report. Geneva, World Health Organization (WHO-Technical Report Series, 724), 1985.

- [18] LUJAN, D.L.B. **Variedades de feijão e efeitos na qualidade protéica, na glicemia e nos lipídios sanguíneos em ratos.** Viçosa (MG), UFV. 2004. 108 p., Tese (mestrado em Ciência da Nutrição) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- [19] MONTEIRO, M.R.P., MOREIRA, M.A., COSTA, N.M.B., OLIVEIRA, M.G.A., PIRES, C.V. Avaliação da digestibilidade protéica de genótipos de soja com ausência e presença do inibidor de tripsina Kunitz e lipoxigenases. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 1, p. 99-107, 2003.
- [20] OLIVEIRA, J.E.D. de & VANNUCCHI, H. **The protein requirement of Brazilian rural works studies with a rice and a bean a diet.** In: RAND, W.M. Protein-energy requirements of developing countries: results of international research. Tokio, United University, p. 98-114, 1983.
- [21] ONYANGO, C., HORST NOETZOLD, H., BLEY, T.; HENLE, T. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize-finger millet blend. **Lebensm-Wiss. U-Technol.**, 37:827-832, 2004.
- [22] PAREDES-LOPEZ, O., SERNA-SALDIVAR, S.O., GUZMAN-MALDONADO, H. In: El Colegio de Sinaloa (Ed.), **Los Alimentos Mágicos de Las Culturas Indígenas de Mexico - el Caso de la Tortilla Culiacan.** Sinaloa, Mexico, 2000.
- [23] PIRES, I.S.C. **Carne de novilhos precoces alimentados com diferentes fontes lipídicas: valor nutricional e efeitos sobre a lipemia de ratos.** Viçosa (MG), UFV. 2003. 114 p. Tese (doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- [24] QUEDRAOGO, C.L., COMBE, E., LALLES, J.P., TOULLEC, R., TRECHE, S., GRONGNET, J.F. Nutritional value of the proteins of soybeans roasted at a small-scale unit level in Africa as assessed using growing rats. **Reprod Nutr.**, 39:201-12, 1999.
- [25] REEVES, P.G., NIELSEN, F.H., FAHEY, 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. **Journal of Nutrition**, v. 123, p. 1.939-1.951, 1993.
- [26] ROMAN, J.A. & SGARBIERI, V.C. Obtenção e caracterização química e nutricional de diferentes concentrados de caseína. **Rev. Nutr.**, Campinas, 18(1):75-83, 2005.
- [27] SANTOS, J.E., HOWE, J.M., DUARTE, F.A.M., OLIVEIRA, J.E.D. de. Relationship between the nutritional efficacy of a rice and bean diet and energy intake in pre-school children. **Am. J. Clin. Nutr.**, 32:1.541-4, 1979.
- [28] SARWAR, G. The protein digestibility-corrected amino acid score method overestimates quality of proteins containing antinutritional factors and of poorly digestible proteins supplemented with limiting amino acids in rats. **Journal of Nutrition**, v. 127, p. 758-764, 1997.
- [29] SCHAAFSMA, G. **Nutritional Appreciation of Proteins.** Report V94.135, TNO Nutrition and Food Research Institute, Zeist, The Netherlands, 1994.
- [30] SGARBIERI, V.C. Métodos de avaliação da qualidade nutricional dos alimentos. In: SGARBIERI, V.C. **Alimentação e Nutrição - Fator de Saúde e Desenvolvimento.** São Paulo, Almed, p. 250-261, 1987.