



COMPARAÇÃO ENTRE A DIGESTIBILIDADE PROTÉICA *IN VITRO* E *IN VIVO* DE DIFERENTES CULTIVARES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) ARMAZENADOS POR 30 DIAS*

Geralda Aldina Dias Rodrigues CRUZ**

Maria Goreti de Almeida OLIVEIRA**

Neuza Maria Brunoro COSTA***

Christiano Vieira PIRES**

Renato Souza CRUZ****

Maurílio Alves MOREIRA**

■ **RESUMO:** O feijão comum é uma leguminosa que vem sendo estudada extensivamente na América Latina por ser uma das principais fontes de proteínas além de fazer parte dos hábitos alimentares da população. Entretanto, um dos maiores problemas do feijão é representado pela baixa digestibilidade de suas proteínas. Assim, esse trabalho foi delineado para correlacionar quatro metodologias de determinação de digestibilidade protéica *in-vitro* com os valores da digestibilidade *in-vivo*, obtidos para onze variedades Brasileiras de feijão (*P. vulgaris*). Um sistema multi-enzimático contendo tripsina, quimotripsina e pepsina foi utilizado para o experimento *in-vitro*, enquanto que os valores da digestibilidade verdadeira e aparente foram obtidos de ensaios biológicos com ratos desmamados. A equação obtida para os métodos *in-vivo* e *in-vitro* foram usadas para determinar a correlação e prever a digestibilidade. Os resultados mostraram que o método *in vitro* que obteve maior valor de R² e coeficiente de correlação, foi o método desenvolvido por Cruz.⁹ com valores de 0,83 para R² e 0,91 para o coeficiente de correlação. A diferença entre os valores de digestibilidade *in vivo* e *in vitro*, calculados a partir desse método, variou de - 9,65 a +1,09 para a digestibilidade verdadeira e de - 7,75 a + 3,12 para a aparente.

■ **PALAVRAS-CHAVE:** Digestibilidade *in vivo* e *in vitro*; proteína; armazenamento; *Phaseolus vulgaris*.

Introdução

O feijão tem especial importância no Brasil não somente pelo fato de o país ser o maior produtor e consumidor mundial, consumindo de 2,2 a 2,5 milhões de toneladas/ano, com aproximadamente 5 milhões de hectares cultivados, mas também por ser um dos principais alimentos

protéicos do povo brasileiro.^{11,20} O feijão é a leguminosa que tem sido objeto de muitos estudos na América Latina, por ser uma das principais fontes de proteínas e por fazer parte dos hábitos alimentares da população. A qualidade do feijão como alimento inclui tanto características nutricionais, tais como qualidade e quantidade protéica, quanto características tecnológicas, como o tempo de cozimento.

O consumidor brasileiro prefere o feijão de colheita mais recente, pois sua aceitabilidade é sensivelmente diminuída à medida que aumentam os meses de armazenamento. O grão, armazenado diminui a qualidade sensorial, requer tempo prolongado para seu cozimento e não fornece um caldo espesso, sendo, assim, menos aceitável pelo consumidor.^{10, 14}

Condições controladas de armazenamento são essenciais para preservar a qualidade do grão o conteúdo de umidade deste, a umidade relativa do ar e a temperatura de armazenamento do produto são os parâmetros mais críticos.^{1,2} Um fator nutricional da maior importância no feijão é a proteína. Entretanto, a baixa digestibilidade de suas proteínas e a reduzida concentração de aminoácidos sulfurados, se apresentam como limitações, sendo a digestibilidade o primeiro fator que afeta a eficiência da utilização protéica da dieta. Quando as ligações peptídicas não são hidrolisadas durante o processo digestivo, parte da proteína torna-se indisponível para absorção e uso pelo organismo.

A medida mais exata da qualidade de uma proteína é a que se realiza num organismo vivo, sendo o corpo humano o melhor organismo-teste. Por razões éticas e práticas, esses estudos são escassos, pois, ensaios com animais experimentais são aceitos, sobretudo com ratos, por terem a capacidade de digerir proteínas de forma semelhante ao homem.^{6, 22} Como alternativa, existem os diversos métodos *in vitro*, que apresentam boa correlação com os valores encontrados em animais de experimentação e no homem.

Todas as técnicas de medidas de digestibilidade *in*

*Trabalho elaborado com o auxílio financeiro da FAPEMIG e CNPq.

** Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular - BIOAGRO - Universidade Federal de Viçosa - UFV - 36571-000 - Viçosa - MG - Brasil

*** Departamento de Nutrição e Saúde - Universidade Federal de Viçosa - UFV - 36571-000 - Viçosa - MG - Brasil

**** Departamento de Tecnologia - Universidade Estadual de Feira de Santana - Feira de Santana - BA - Brasil

in vitro se baseiam em digerir a amostra com enzimas proteolíticas em condições padronizadas. A diferença básica entre os métodos são a quantidade e natureza das enzimas, a combinação de enzimas utilizadas e a medida final, que se realiza para quantificar a digestibilidade.¹²

O objetivo geral do presente trabalho foi, portanto, avaliar a qualidade protéica de variedades de feijão através de diferentes técnicas de determinação da digestibilidade *in vitro* para estabelecer a melhor correlação com os ensaios *in vivo*.

Material e métodos

O presente trabalho foi realizado nos Laboratórios de Enzimologia, Bioquímica de Proteínas e Peptídeos do Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária (BIOAGRO) e de Nutrição Experimental do Departamento de Nutrição e Saúde (DNS), ambos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa, MG.

Material genético

As amostras de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas foram dos seguintes grupos: Carioca (Carioca, Aporé, Aruã, Pérola e Rudá), Preto (Diamante Negro e Ouro Negro), Branco (Ouro Branco), Mulatino (A774), Roxo (RAO 33) e Vermelho (Vermelho Coimbra), fornecidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA – Arroz e Feijão), localizada em Goiânia, GO. As amostras foram acondicionadas, separadamente em sacos de pano, comumente utilizados para o transporte dos grãos e estocados à temperatura ambiente por 30 dias, em estantes afastadas em 20cm das paredes do galpão adequado para essa prática.

Preparo da farinha de feijão

Para obtenção da farinha de feijão cozido, com

casca, inicialmente foi realizada uma seleção manual dos grãos para eliminação de impurezas e sujidades. Posteriormente, os grãos foram limpos e coccionados em água, na proporção de 1:1,5 (p/v), em panela de pressão doméstica, durante 40 minutos. Após o cozimento, foram secados em estufa de ar circulante (24 h/60 °C), até umidade de 13%, sendo, em seguida, moídos em moinho de facas marca Elo's, utilizando-se peneiras de 20 mesh.

Determinação de proteína

A determinação de proteínas foi efetuada segundo o método de semimicro Kjeldahl, para quantificação de nitrogênio total, descrito pela Association of Official Analytical Chemists³, utilizando 6,25 como fator de conversão.

Ensaio biológico

Preparo das dietas

Foram preparadas uma dieta aprotéica e uma dieta de caseína, padrão, mais outras 11 dietas experimentais, cujas fontes protéicas foram os feijões Aporé, Aruã, A 774, Carioca, Diamante Negro, Ouro Branco, Ouro Negro, Pérola, RAO 33, Rudá e Vermelho Coimbra, armazenados por 30 dias, conforme apresentado na Tabela 1.

O teor de nitrogênio da ração foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl, sendo usado o fator 6,25 para obtenção do teor de proteína.

Planejou-se (Tabela 1) para as dietas um teor de 9 a 10% de proteína, 5% de lipídios, 1% de mistura vitamínica, 3,5% de mistura salina e 0,2% de cloreto de colina e amido de milho para completar 100%.

Tabela 1 – Composição das dietas utilizadas no experimento com ratos (g/100 g de mistura)

Ingredientes	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13
Farinha de feijão Aporé ¹	39,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão Aruã ¹	-	47,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão Rudá ¹	-	-	53,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão Ouro Branco ¹	-	-	-	47,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão Carioca ¹	-	-	-	-	52,37	-	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão Pérola ¹	-	-	-	-	-	47,66	-	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão RAO 33 ¹	-	-	-	-	-	-	49,63	-	-	-	-	-	-
Farinha de feijão A 774 ¹	-	-	-	-	-	-	-	49,29	-	-	-	-	-
Farinha de feijão Verm. Coimbra ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	44,20	-	-	-	-
Farinha de feijão Ouro Negro ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,81	-	-	-
Farinha de feijão Diamante Negro ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,43	-	-
Caseína ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,98	-
Mistura salfínica ^{2,*}	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Mistura vitamínica ^{2,*}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Óleo de soja ³	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Bitartarato de colina ²	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Amido de milho (q.s.p.) ³	20,69	11,94	6,71	12,30	6,38	12,09	10,12	10,46	15,55	3,94	16,32	42,47	64,75
L-cistina ²	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fibra alimentar (celulose) ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0
Amido de milho dextrinizado ²	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2
Sacarose ³	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

¹ Farinha produzida a partir das amostras de feijão analisadas.

² Obtido da RHOSTER – Indústria e Comércio Ltda.

* Segundo Reeves et al¹⁸.

³ Obtido no comércio de Viçosa, MG.

Animais

Foram utilizados 78 ratos machos, raça Wistar, recém-desmamados, com média de 23 dias de idade, peso variando de 50 a 60 g, provenientes do biotério do Departamento de Nutrição e Saúde (DNS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os animais foram divididos em 13 grupos com seis animais cada, de modo que a média dos pesos entre os grupos não excedesse a 5 g. Os ratos foram colocados em gaiolas individuais, onde receberam água e suas dietas experimentais *ad libitum*, por 14 dias. Os animais foram mantidos em condições de temperatura de 22 ± 3 °C, sendo o monitoramento do consumo alimentar realizado semanalmente.

Digestibilidade verdadeira

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

Ao término do experimento, as fezes foram secadas em estufa com circulação de ar, a 105 °C, por 24 h. Após resfriamento, foram pesadas e trituradas em multiprocessador, para determinação da concentração de nitrogênio pelo método semimicro Kjeldahl, com amostras em triplicata.³

As digestibilidades verdadeira e aparente foram calculadas de acordo com as equações I e II, respectivamente.

Equação I:

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

Equação II:

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

Onde:

I – nitrogênio ingerido pelo grupo teste

F – nitrogênio fecal do grupo teste

FK – nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica

Para ambas as equações.

Determinação da digestibilidade *in vitro*

Para determinação da digestibilidade *in vitro* foram utilizados os seguintes métodos:

Método 1 – Aplica-se à queda do pH durante 10 minutos, como descrito por HSU et al.¹³

Método 2 – Utiliza-se a queda do pH durante 20 minutos, como descrito por Saterlee.²³

Método 3 – Entrega-se o volume de titulante gasto para manter o valor do pH em 8 durante 10 minutos, conforme descrito por Pedersen & Eggum¹⁶.

Método 4 – Utiliza-se um fator de hidrólise da caseína, conforme descrito por Cruz.⁹

Determinação da correlação entre as digestibilidades *in vivo* e *in vitro*

A correlação foi determinada mediante o uso de regressão linear, entre cada metodologia testada para digestibilidade *in vitro* e digestibilidade *in vivo* (verdadeira e aparente), para feijões armazenados por 30 dias.

Análise estatística

Os resultados das análises de digestibilidade *in vivo* foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey adotando o erro de 5% de probabilidade como critério padrão de probabilidade.

Resultados e discussão

Digestibilidade *in vivo*

Feijões armazenados em temperatura e umidade relativa elevadas causam diminuição na qualidade protéica.^{7,15}

Os resultados, no experimento com ratos convencionais, de digestibilidades verdadeira e aparente de todas as variedades de feijão analisadas encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Feijões crus são tóxicos, e sua digestibilidade geralmente se situa entre 25 e 60%, mas, quando cozido, esse valor aumenta para 65 a 85%, dependendo da variedade e do processo de cocção usado.¹⁹

Observou-se que a digestibilidade verdadeira das amostras estudadas (Tabela 2) variou de 77,58% no feijão Pérola a 87,46% no feijão Ouro Branco, resultado inferior, portanto, aos encontrados por Cruz⁹, trabalhando com as

Tabela 2 – Digestibilidade verdadeira (DV) das dietas de caseína e dos feijões cozidos, com casca, armazenado por 30 dias.

Dieta	Grupo	DV(%)*
Caseína	-	97,30 ^a
Ouro Branco	Branco	87,46 ^b
Aporé	Carioca	87,30 ^b
A774	Mulatinho	86,48 ^b
Aruã	Carioca	86,39 ^b
Vermelho Coimbra	Vermelho	86,38 ^b
Rudá	Carioca	82,95 ^{b,c}
Carioca	Carioca	81,37 ^{b,c}
Diamante Negro	Preto	81,36 ^{b,c}
Ouro Negro	Preto	81,29 ^{b,c}
RAO 33	Roxo	79,97 ^{b,c}
Pérola	Carioca	77,58 ^c

*As médias dentro da mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Digestibilidade aparente (DA) das dietas de caseína e dos feijões cozido, com casca, armazenado por 30 dias

Dieta	Grupo	DA(%)*
Caseína	-	97,02 ^a
Ouro Branco	Branco	86,65 ^b
Aporé	Carioca	86,44 ^b
A774	Mulatinho	85,82 ^b
Vermelho Coimbra	Vermelho	85,57 ^b
Aruã	Carioca	85,30 ^b
Rudá	Carioca	82,10 ^{b,c}
Diamante Negro	Preto	80,61 ^{b,c}
Carioca	Carioca	80,57 ^{b,c}
Ouro Negro	Preto	80,49 ^{b,c}
RAO 33	Roxo	79,20 ^{b,c}
Pérola	Carioca	76,77 ^c

*As médias dentro da mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

mesmas variedades de feijão recém-colhidas. Em algumas, essa redução foi bastante drástica, a exemplo da variedade Pérola, que caiu de 91,12 para 77,68 quanto à digestibilidade verdadeira e de 90,82 para 76,77 no tocante à digestibilidade aparente.

Ao comparar os resultados obtidos nas variedades analisadas com aqueles encontrados com relação à caseína, verificou-se que esta apresentou um valor de digestibilidade significativamente maior que o de todas as variedades analisadas.

Os resultados deste trabalho evidenciaram também que, com relação aos valores de digestibilidades verdadeira e aparente, todas as variedades, diferiram estatisticamente da dieta de caseína, ilustrando a superioridade desta dieta perante as demais.

Carias et al.⁸ argumentaram que a digestibilidade verdadeira é sempre maior que a digestibilidade aparente, porque esta digestibilidade não considera as perdas obrigatórias de nitrogênio nas fezes, o que está de acordo com os resultados encontrados neste trabalho, que variaram de 86,65% na variedade Ouro Branco a 76,77% na variedade Pérola.

Digestibilidade *in vitro*

No presente trabalho foram analisados quatro métodos para ensaio de digestibilidade *in vitro*, utilizando-se um sistema multienzimático contendo as enzimas tripsina, quimotripsina e pepsina. As equações de regressão obtida foram usadas para correlacionar os estudos *in vitro* com os ensaios *in vivo* e, dessa forma, predizer a digestibilidade.

Para uma melhor avaliação dos métodos *in vitro* e predição de uma melhor equação de correlação, utilizaram-se nos testes as seguintes combinações das amostras analisadas. São elas:

- Digestibilidade verdadeira dos feijões armazenados x Digestibilidade *in vitro* de todas as variedades armazenadas.

- Digestibilidade aparente dos feijões armazenados x Digestibilidade *in vitro* de todas as variedades armazenadas.

Os coeficientes de correlações (R^2) e a correlação dos parâmetros para a digestibilidade verdadeira dos feijões armazenados e a determinada *in vitro* de todas as variedades armazenadas, encontra-se no Tabela 4.

A Figura 1 ilustra, graficamente, os Métodos 1 e 2 e a Figura 2, os Métodos 3 e 4, para digestibilidade verdadeira dos feijões armazenados. De acordo com os resultados do Tabela 4, observa-se que o melhor resultado foi o do Método 4, que apresentou um coeficiente de correlação de 0,91 e R^2 de 0,82. O mesmo resultado foi encontrado por Cruz⁹, que utilizou as mesmas metodologias para determinação da digestibilidade *in vitro* em feijões recém-colhidos. Observa-se também, através destes resultados, que o tempo de armazenamento não foi suficiente para afetar a correlação entre os estudos *in vitro* e os ensaios *in vivo*. O Método 2 para o feijão armazenado também apresentou esses mesmos valores, diferindo somente na correlação dos parâmetros, a qual foi de 0,90 para o Método 2 e 0,91 para o Método 4.

Nos resultados de digestibilidade aparente (Tabela 5), observou-se que o melhor resultado foi também o do Método 4, que apresentou um coeficiente de correlação de 0,87 e R^2 de 0,75. Cruz⁹, que trabalhou com as mesmas variedades recém-colhidas encontrou para o mesmo método um coeficiente de correlação de 0,91 e R^2 de 0,83.

Tabela 4 – Correlação (R^2) entre a digestibilidade verdadeira dos feijões armazenados e a determinada *in vitro*, pelos Métodos 1, 2, 3 e 4, utilizando-se todas as variedades analisadas

Método	Correlação dos Parâmetros	R^2	Coeficiente de Correlação	Equação de Regressão*
1	-0,90	0,81	0,90	
2	-0,90	0,82	0,91	
3	0,88	0,77	0,88	
4	0,91	0,82	0,91	$Y=4,413X + 78,082$

* Equação obtida através da análise de regressão linear.

Método 1 – Hsu¹³

Método 2 – Saterlee²³.

Método 3 – Pedersen & Eggum¹⁶.

Método 4 – Cruz⁹.

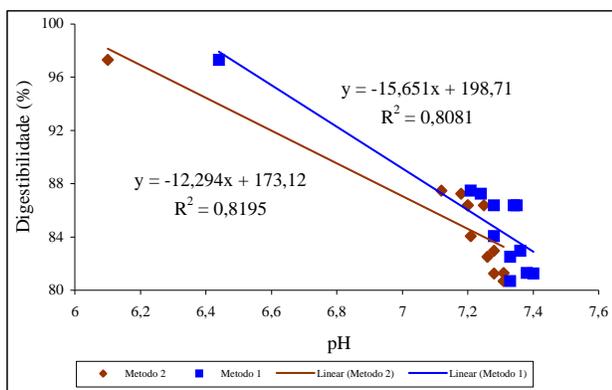


FIGURA 1 – Modelo representativo dos Métodos 1 e 2, utilizando-se a digestibilidade verdadeira de feijões armazenados.

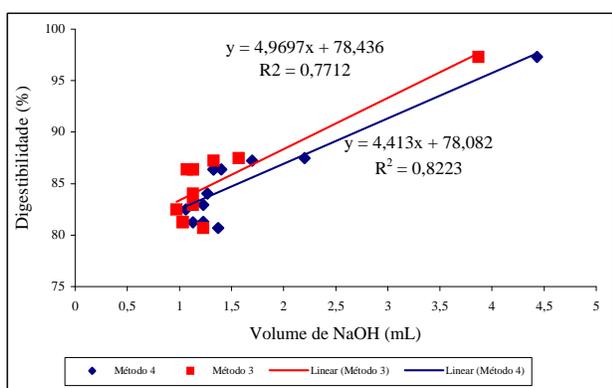


FIGURA 2 – Modelo representativo dos Métodos 3 e 4, utilizando-se a digestibilidade verdadeira de feijões armazenados.

Verificou-se, através dos resultados que o tempo de armazenamento diminuiu a correlação encontrada entre os estudos *in vivo* e *in vitro*. As Figuras 3 e 4 representam, graficamente, os Métodos 1, 2, 3 e 4 para digestibilidade aparente dos feijões armazenados.

Carias et al.⁸, utilizando os Métodos 1 e 3 para determinar a digestibilidade *in vitro* de várias fontes protéicas animal e vegetal, inclusive de feijão-preto, encontraram coeficientes de correlação com a digestibilidade verdadeira e aparente de 0,938 e 0,935 pelo Método 1 e de

0,918 e 0,920 pelo Método 3, em todas as amostras analisadas. Esses resultados podem estar superestimando a digestibilidade de proteínas de feijão, visto que são utilizadas proteínas com alta digestibilidade, como as proteínas de origem animal, para estabelecer o coeficiente de correlação.

Bodwell⁶ e Saterlee²³ utilizaram os métodos 1, 2 e 3 do presente trabalho, para determinação da digestibilidade protéica *in vitro* e sua correlação com os ensaios *in vivo*, em diferentes fontes protéicas, porém não verificaram a digestibilidade e a correlação de feijões através desses métodos. Devido ao fato de o melhor coeficiente de correlação e R^2 encontrado, entre os estudos *in vivo* e *in vitro*, ter sido obtido através do método desenvolvido por Cruz⁹, utilizaram-se as equações obtidas através da análise de regressão linear do referido método (Tabelas 4 e 5), para prever a digestibilidade protéica *in vitro*.

Estudos *in vitro* evidenciaram que a digestibilidade de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) situou-se entre 76,8 e 84,1%, apresentando-se diminuída quando a pigmentação do grão aumenta. Os pigmentos são, em geral, compostos fenólicos que podem interagir com proteínas do feijão, diminuindo sua digestibilidade e utilização.⁴

Os dados referentes à digestibilidade *in vitro* dos feijões analisados, encontram-se na Tabela 6, nos quais se observa que todas as variedades pigmentadas apresentaram menor digestibilidade que a variedade não-pigmentada (Ouro Branco), conforme literatura anteriormente descrita.

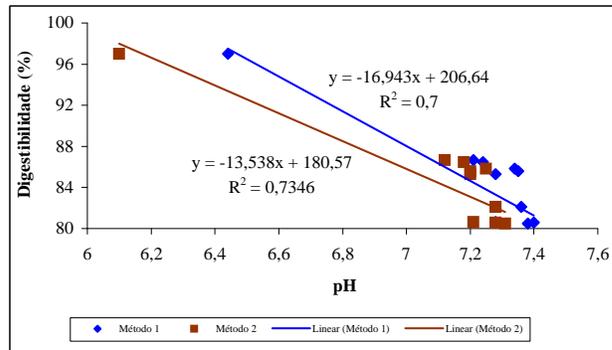


FIGURA 3 – Modelo representativo dos Métodos 1 e 2, utilizando-se a digestibilidade aparente de feijões armazenados.

Tabela 5 – Correlação (R^2) entre a digestibilidade aparente dos feijões armazenados e a determinada *in vitro*, pelos Métodos 1, 2, 3 e 4, utilizando-se todas as variedades analisadas

Método	Correlação dos Parâmetros	R^2	Coefficiente de Correlação	Equação de Regressão*
1	-0,84	0,70	0,84	
2	-0,84	0,73	0,86	
3	0,83	0,69	0,83	
4	0,87	0,75	0,87	Y=4,9046X + 75,839

* Equação obtida através da análise de regressão linear.

Método 1 – Hsu¹³.

Método 2 – Saterlee²³.

Método 3 – Pedersen & Eggum¹⁶.

Método 4 – Cruz⁹.

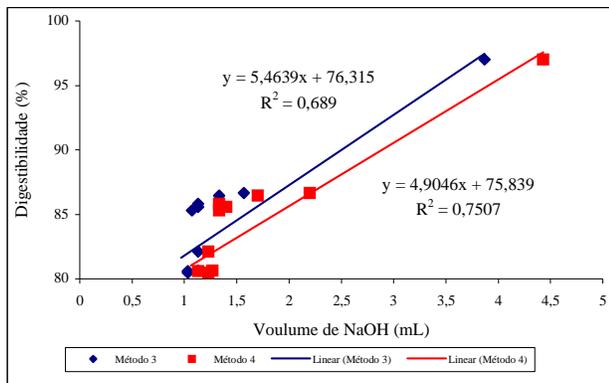


FIGURA 4 – Modelo representativo dos Métodos 3 e 4, utilizando-se a digestibilidade aparente de feijões armazenados.

A digestibilidade *in vitro* dos feijões armazenados (Tabela 6), utilizando o método 4, variou de 90,71% na variedade Ouro Branco a 84,39% na variedade RAO 33. Esses resultados diferem da digestibilidade *in vitro* dos feijões recém-colhidos, encontrados por Cruz⁹, que variou de 92,56% na variedade Ouro Branco a 87,52% na variedade Carioca. Barampana & Simard⁵, utilizando o Método 1 para determinação da digestibilidade *in vitro* de quatro variedades de feijões obtidos recém-colhidos encontraram valores que variaram de 67,47 a 71,99%. Esses resultados indicam que a digestibilidade protéica desses feijões pode estar sendo influenciada pela interação variedade-localidade e também pelo método utilizado.

Pusztai¹⁷ e Sathe²⁴ obtiveram valores de digestibilidade *in vitro* de feijão variando de 43,5 a 74% e Salunkhe & Kadam²¹, valores bem mais baixos, que variaram de 36,3 a 56%.

Tabela 6 - Medidas *in vivo* da digestibilidade verdadeira dos feijões armazenados durante 30 dias e a determinada *in vitro*, utilizando-se a equação de regressão do Método 4.

Amostras	Digestibilidade <i>in vivo</i> *	Digestibilidade <i>in vitro</i>	Diferença
Caseína	97,30 ^a	100,45	-3,15
Ouro Branco	87,46 ^b	90,71	-3,25
Aporé	87,30 ^b	88,02	-0,72
A774	86,48 ^b	85,39	1,09
Aruã	86,39 ^b	85,54	0,85
Vermelho	86,38 ^b	86,53	-0,15
Coimbra			
Rudá	82,95 ^{b,c}	85,04	-2,09
Carioca	81,37 ^{b,c}	84,05	-2,68
Diamante	81,36 ^{b,c}	85,74	-4,38
Negro			
Ouro Negro	81,29 ^{b,c}	85,54	-4,25
RAO 33	79,97 ^{b,c}	84,39	-4,42
Pérola	77,58 ^c	87,23	-9,65

* As médias dentro da mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Medidas *in vivo* e *in vitro* da digestibilidade aparente dos feijões armazenados durante 30 dias, utilizando-se a equação de regressão do Método 4.

Amostras	Digestibilidade <i>in vivo</i> *	Digestibilidade <i>in vitro</i>	Diferença
Caseína	97,02 ^a	97,56	-0,54
Ouro Branco	86,65 ^b	87,95	-1,30
Aporé	86,44 ^b	85,30	1,14
A774	85,82 ^b	82,70	3,12
Vermelho	85,57 ^b	83,83	1,74
Coimbra			
Aruã	85,30 ^b	82,85	2,45
Rudá	82,10 ^{b,c}	82,36	-0,26
Diamante	80,61 ^{b,c}	81,38	-0,77
Negro			
Carioca	80,57 ^{b,c}	81,38	-0,81
Ouro Negro	80,49 ^{b,c}	82,85	-2,36
RAO 33	79,20 ^{b,c}	81,75	-2,25
Pérola	76,77 ^c	84,52	-7,75

* As médias dentro da mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade.

Com relação à digestibilidade verdadeira dos feijões armazenados (Tabela 6), observou-se que a diferença entre os valores *in vivo* e *in vitro* variou de -9,65 a +1,09 nos feijões Pérola e Carioca, respectivamente. Para digestibilidade aparente (Tabela 7), observou-se, que essa diferença variou de -7,75 no feijão Pérola a +3,12 no feijão A774. Cruz⁹, trabalhando com as mesmas variedades recém-colhidas, encontrou valores de digestibilidade *in vitro* muito próximos dos valores *in vivo*, tanto para a verdadeira quanto para a aparente, indicando que o tempo de armazenamento, apesar de curto interferiu de forma negativa na digestibilidade de proteínas de feijões.

Pelos resultados apresentados, conclui-se que, entre os métodos analisados para determinação da digestibilidade *in vitro* de feijões armazenados por 30 dias, o método 4 obteve maior R² e coeficiente de correlação com os ensaios *in vivo*, podendo ser usado para essa determinação.

CRUZ, G.A.D.R.; OLIVEIRA, M.G.de A.; COSTA, N.M.B.; PIRES, C.V.; CRUZ, R.S.; MOREIRA, M.A. Comparison between *in vivo* and *in vitro* protein digestibility of different varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) storage of 30 days. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v.16, n.3, p. 265-271, jul./set. 2005.

■ **ABSTRACT:** The common bean is a leguminous seed extensively studied in Latin America because it is a major source of protein and part of the eating habit of the population. However, one of the problems concerning beans is their low protein digestibility. Thus, this work was designed to correlate four methodologies of *in-vitro* protein digestibility with the *in-vivo* digestibility values obtained for eleven kidney bean (*P. vulgaris*) Brazilian cultivars. A multi-enzymatic system that contained

trypsin, chymotrypsin, and pepsin was utilized for the *in-vitro* assay, while apparent and true digestibility values were obtained from biological assays with weanling rats. The equation from the *in-vivo* and *in-vitro* methods were used to draw the correlation and predict digestibilities. The results showed that the *in vitro* method with the higher R² value and correlation coefficient was the method developed by Cruz⁹, with values ranging from 0.83 for R² and 0.91 for the correlation coefficient. The difference between the *in vivo* and *in vitro* digestibility, calculated by this method, was from -9.65 to +1.09 for true digestibility and from -7.75 to +3.12 for apparent digestibility.

■ **KEYWORDS:** *In vivo* and *in vitro* digestibility; protein; storage; *Phaseolus vulgaris*.

Referencias bibliográficas

- ANTUNES, P. L.; SGARBIERI, V. C. Influence of time and conditions of storage on technological and nutritional properties of a dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) variety Rosinha G2. **J. Food Sci.**, v. 44, n.6, p.1703-1706, 1979.
- ANTUNES, P.L. et al. Valor nutricional de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivares Rico 23, Carioca, Pirata-1 e Rosinha – G2. **Rev. Bras. Agric.**, v. 1, n. 1, p. 12-18, 1995.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 14th ed. Arlington, 1984. 1141 p.
- AW, T. L.; SWANSON, B. G. Influence of tannin on *Phaseolus vulgaris* protein digestibility and quality. **J. Food Sci.**, v. 50, n. 1, p. 67-71, 1985.
- BARAMPANA, Z.; SIMARD, R. E. Oligosaccharides, antinutritional factors and protein digestibility of dry beans as affected by processing. **J. Food Sci.**, v. 59, n. 4, p. 833-838, 1994.
- BODWELL, C. E.; SATTERLEE, L. D.; HACKLER, L. R. Protein digestibility of the same protein preparations by human and rat assays and by *in vitro* enzymic digestion methods. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 33, p. 677-686, 1980.
- BURR, H. K. Pulse proteins. In: FRIEDMAN, M. (Ed.) **Protein nutritional quality of foods and feeds: quality factors, plant breeding, composition, processing and anti-nutrients**. New York: Marcel Dekker, 1975. pte2.
- CARIAS, D.; CIOCCIA, A. M.; HEVIA, P. Grado de concordancia entre la digestibilidad de proteínas animales y vegetales medidas *in vivo* e *in vitro* y su efecto sobre el cómputo químico. **Arch. Latinoam. Nutr.**, v. 45, n. 2, p. 111-116, 1995.
- CRUZ, G. A. D. R. **Efeito do armazenamento sobre a digestibilidade protéica de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2003. 87f. Dissertação (Doutorado em Bioquímica Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- GARCIA, O. E.; LAJOLO, F. M. Starch alterations in hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Agric. Food Chem.**, v.42, p.612-615, 1994.
- GONÇALVES, J.S.; SOUZA, S.A.M. Gangorra de pregas: a produção e o abastecimento de feijão na safra 1997/98 no Estado de São Paulo. **Inform. Econ.**, v. 28, n. 6, p. 60-65, 1998.
- HERNÁNDEZ, T.; HERNANDEZ, A.; MARTINEZ, C. Calidad de proteínas. Conceptos y evaluación. **Alimentaria**, n.274, p. 27-39, 1996.
- HSU, H.W. et al. Multienzyme technique for estimating protein digestibility. **J. Food Sci.**, v. 42, n. 5, p. 1269-1273, 1977.
- JONES, P.M.B.; BOULTER, D. The cause of reduced cooking rate in *Phaseolus vulgaris* following advance storage conditions. **J. Food Sci.** v.48, p.623-626, 1983.
- MOLINA, M. R.; DE LA FUENTE, G.; BRESSANI, R. Interrelationships between storage, soaking time, cooking time, nutritive value and other characteristics of the black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **J. Food Sci.**, v.40, p.587-591, 1975.
- PEDERSEN, B.; EGGUM, B. O. Prediction of protein digestibility by an *in vitro* enzymatic pH-stat procedure. **Z. Tierphysiol. Tierernaehr Futtermittelk.**, v. 49, p. 265-277, 1983.
- PUSZTAI, A.; CLARKE, E. M. W.; KING, T. M. The nutritional toxicity of *Phaseolus vulgaris* lectins. **Proc. Nutr. Soc.**, v. 38, n.1, p.115-120, 1979.
- REEVES, P. G.; NIELSEN, F. H.; FAHEY JUNIOR, 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- 76 A rodent diet. **J. Nutr.**, v.123, p. 1939-1951, 1993.
- REYES-MORENO, C.; PAREDEZ-LÓPEZ, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans: a review. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.33,n.33, p.227-286, 1993.
- ROSTON, A.J. **Feijão**. Campinas: CATI, 1990. 18 p. (Boletim Técnico).
- SALUNKHE, D. K.; KADAM, S. S. **CRC: handbook of world food legumes: nutritional chemistry processing technology and utilization**. Boca Raton: CRC Press, 1989. v.1.
- SARWAR, G.; PEACE, R. W. Comparison between true digestibility of total nitrogen and limiting amino acids in vegetable proteins fed to rats. **J. Nutr.**, v.116, p.1172-1184, 1986.
- SATERLEE, L.D.; MARSHALL, H.F.; TENNYSON, J.M. Measuring protein quality. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v. 56, p. 103-109, 1979.
- SATHE, S. K.; DESHPANDE, S. S.; SALUNKE, D. K. Dry beans of *Phaseolus*: a review I. Chemical composition. Proteins. **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.20, n.5, p.31-39, 1984.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.