

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO LEITE E
DERIVADOS

Rafaela Nogueira Gomes de Moraes

Indicadores nutricionais de proteínas lácteas e vegetais

Juiz de Fora

2022

Rafaela Nogueira Gomes de Moraes

Indicadores nutricionais de proteínas lácteas e vegetais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados. Área de concentração: Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Stephani

Juiz de Fora

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Morais , Rafaela.
Indicadores nutricionais de proteínas lácteas e vegetais / Rafaela
Morais . -- 2022.
38 f.

Orientador: Ítalo Tuler Perrone
Coorientador: Rodrigo Stephani
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e Bioquímica. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, 2022.

1. Metodologia. 2. Evolução dos indicadores nutricionais. 3. Qualidade proteica. I. Tuler Perrone, Ítalo, orient. II. Stephani, Rodrigo, coorient. III. Título.

Rafaela Nogueira Gomes de Moraes

Indicadores nutricionais de proteínas lácteas e vegetais

Dissertação
apresentada ao
Programa de Pós-
graduação em
Ciência e Tecnologia
do Leite e Derivados
da Universidade
Federal de Juiz de
Fora como requisito
parcial à obtenção do
título de Mestre
em Ciência e
Tecnologia do Leite e
Derivados. Área de
concentração: Ciência
e Tecnologia do Leite
e Derivados.

Aprovada em 15 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Rodrigo Stephani - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Paulo Henrique Fonseca da Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora

Profa. Dra. Patrícia Aparecida Fontes Vieira
Universidade Federal de Viçosa

Juiz de Fora, 12/09/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Italo Tuler Perroni, Professor(a)**, em 15/09/2022, às 17:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Fonseca da Silva, Professor(a)**, em 20/09/2022, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Stephani, Professor(a)**, em 21/09/2022, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Aparecida Fontes Vieira, Usuário Externo**, em 25/09/2022, às 21:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0945492** e o código CRC **28256510**.

AGRADECIMENTOS

“Tu és o meu refúgio e a minha fortaleza, o meu Deus, em quem confio Salmos 91.2”. É assim que começo meus agradecimentos, dando graças a Deus, o qual permitiu com que este sonho nascesse em meu coração e se concretizasse. Obrigada por me capacitar e estar comigo nos dias difíceis!

Quero agradecer ao meu querido e amado pai, Renato, que infelizmente nos deixou antes que eu concluísse esta etapa, mas que foi o meu combustível diário para eu prosseguisse quando pensei que não seria capaz. Pai, finalizo mais esta etapa com a certeza de que suas palavras de encorajamento, sabedoria, mansidão e, principalmente, sua capacidade de ressaltar sempre o meu melhor, me preparou para enfrentar qualquer obstáculo que a vida possa me proporcionar. Dedico este título ao senhor, pois foi por meio do seu esforço diário que hoje estamos juntos aqui. Agradeço à minha mãe, Olga, que foi instrumento de Deus para me incentivar a prosseguir sempre com palavras de fé e sabedoria. À minha irmã Renata, que sempre esteve comigo, me apoiando e auxiliando durante este trabalho. Agradeço também à minha tia, Maria das Graças, por me ajudar e ser também importante na defesa desta dissertação.

Em especial, agradeço à senhora Ana Rossignoli, ao Julinho Rossignoli e à minha coordenadora, Aline Rodrigues, pessoas fundamentais neste processo, pois me deram a oportunidade de adquirir uma experiência enriquecedora em minha área, além de compreenderem a importância do meu estudo, flexibilizando minha rotina de trabalho e entendendo alguns momentos de ausência. Obrigada por serem importantes na conclusão desta etapa.

Agradeço aos professores Dr. Paulo Henrique e Dr.^a Patrícia Fontes pelos apontamentos e observações feitas na qualificação, os quais foram fundamentais para o direcionamento das próximas etapas da pesquisa.

Agradeço à professora Dr.^a Patrícia Fontes por me iniciar nos primeiros passos da pesquisa e por acreditar no meu potencial, sempre me orientando e incentivando a prosseguir nos estudos acadêmicos.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, em especial à servidora Juliana Fonseca, que sempre me atendeu com muita presteza e profissionalismo. Agradeço também ao meu orientador, Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone e ao meu coorientador Prof. Dr. Rodrigo Stephani pelas sugestões e orientações.

Por fim, agradeço aos meus amigos, Felipe, Geislaine, Marlon, Paloma e Quézia, obrigada por estarem comigo nessa caminhada, sempre me impulsionando e sendo um ombro amigo nos dias difíceis. Agradeço também ao meu amigo, Danilo, que com muita dedicação e paciência auxiliou-me na conclusão desse trabalho, trocando ideias e dando sugestões relevantes.

“Seja forte e corajoso! Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o Senhor, se Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde você for.”

Josué 1. 9

RESUMO

A alteração no estilo de vida e no padrão alimentar da população esboça-se no interesse por alimentos com nutrientes de qualidade. Apesar do crescimento do consumo da alimentação vegetal, as proteínas de origem animal são relevantes no que se refere à qualidade dos aminoácidos essenciais e, por essa razão, essas duas fontes proteicas devem ser tratadas como complementares, não devendo ser analisadas separadamente. Assim, para avaliar a qualidade das proteínas podem ser utilizados alguns indicadores nutricionais, como: Escore Químico (EQ), Pontuação de Aminoácidos Corrigidos para Digestibilidade de Proteínas (PDCAAS) e Aminoácidos Indispensáveis Digestíveis (DIAAS). Além disso, a Razão de Eficiência Proteica (PER), Proporção de Proteína Líquida (NPR), Digestibilidade verdadeira (DV), Utilização Líquida de Proteína (NPU) e Valor Biológico (BV), serão descritos para avaliar essa qualidade. Dessa forma, o objetivo da pesquisa constituiu em avaliar a qualidade das proteínas de origem animal e vegetal através dos indicadores descritos na literatura. A partir da proposta, discorreu-se sobre as publicações que avaliaram a eficiência dos métodos. Para isso, foi realizada a pesquisa dos artigos produzidos nos últimos dez anos através das plataformas: Google Acadêmico, PubMed, Scielo e Scopus, sendo selecionado 34 trabalhos produzidos nos últimos dez anos. Apesar da recomendação apontada pela FAO em relação ao DIAAS, os trabalhos acadêmicos o consideram como o indicador nutricional mais adequado, embora exista uma diversidade metodológica disponível atualmente. Por fim, esta revisão torna-se consoante às opiniões de muitos pesquisadores, os quais compreenderam a necessidade da realização de mais estudos para que elaborem metodologia e os parâmetros para que a determinação do DIAAS possa ser mais eficaz e assertiva.

Palavras-chaves: metodologia, evolução dos indicadores nutricionais, qualidade proteica.

ABSTRACT

In recent years, dietary patterns and lifestyles have changed significantly. As a result, foods with quality nutrients have gained popularity. In spite of the growing consumption of plant foods, proteins of animal origin are still relevant in terms of their quality of essential amino acids. Because of this, both sources of protein should be considered complementary and should not be analyzed separately. The quality of proteins can be assessed using a variety of nutritional indicators, such as Chemical Score, Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS), and Digestible Indispensable Amino Acids Score (DIAAS). In addition, Protein Efficiency Ratio (PER), Net Protein Ratio (NPR), True Digestibility, Net Protein Utilization (NPU), and Biological Value will be described to assess this quality. Thus, the objective of the research was to evaluate the quality of proteins of animal and vegetable origin through the indicators described in the literature. From the proposal, the publications that evaluated the efficiency of the methods were discussed. It can be seen in the articles published in the last ten years searched through Google Scholar, PubMed, Scielo, and Scopus platforms. There was great methodological diversity among the studies, but FAO recommended DIAAS as the most suitable nutritional indicator. Despite the FAO recommendation regarding the DIAAS, academic papers consider it to be the most appropriate nutritional indicator, although there is currently a methodological diversity available. Finally, the conclusion of this review is in line with the opinions of many researchers, who understood the need for further studies to develop methodology and parameters so that the DIAAS determination can be more effective and assertive.

Keywords: methodology, evolution of nutritional indicators, protein quality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. METODOLOGIA	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. Estrutura geral das proteínas	14
3.2. PROTEÍNAS DE ORIGEM ANIMAL	15
3.2.1. Proteínas lácteas	15
3.2.1.1. Caseínas	16
3.2.1.2. Proteínas do soro do leite	16
3.3. PROTEÍNAS VEGETAIS	17
3.3.1. Leguminosas	17
3.3.1.1. Frações proteicas de reserva das leguminosas	18
3.4. FATORES ANTINUTRICIONAIS PROTEICOS	18
3.4.1. Inibidores de proteases	18
3.4.1.1. Lectina	19
4. INDICADORES DE QUALIDADE DAS PROTEÍNAS	19
4.1. Evolução da metodologia e aspectos históricos	19
4.2. Definições e métodos de cálculo	21
4.2.1. Coeficiente de eficiência proteica (PER)	21
4.2.2. Coeficiente de eficiência líquida da proteína (NPR)	21
4.2.3. Utilização Líquida da Proteína (NPU)	22
4.2.4. Valor biológico (VB)	22
4.2.5. Biodisponibilidade	23
4.2.6. Digestibilidade	23
4.2.6.1. Digestibilidade aparente (DA)	23
4.2.6.2. Digestibilidade verdadeira (DV)	24
4.7. Escore químico dos aminoácidos (EQ)	24
4.8. Escore químico dos aminoácidos corrigido pela digestibilidade proteica (PDCAAS)	25
4.9. Pontuação de aminoácidos indispensáveis digeríveis (DIAAS)	25
5. APLICAÇÃO DOS INDICADORES E SEUS DESAFIOS	26
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos é possível visualizar uma alteração no estilo de vida e no padrão alimentar da população brasileira. Nesse sentido, o interesse por alimentos que apresentam em sua composição nutrientes de qualidade, tem-se tornado um incentivo na alteração do padrão alimentar (AZEVEDO *et al.*, 2014; GRANATO *et al.*, 2018). Na busca por uma alimentação que seja capaz de suprir as necessidades do ser humano e que traga benefícios à saúde, a sociedade tem experimentado novas opções de alimentos e adaptado suas dietas de diversas formas com o passar dos tempos. Desse modo, a alimentação baseada em vegetais tornou-se uma opção não apenas para o público que apresenta restrição alimentar, mas também para os intolerantes à lactose, alérgicos à proteína do leite e aos adeptos ao vegetarianismo e veganismo (OLIVEIRA, 2013; ZYCHAR, OLIVEIRA, 2017).

Entretanto, para que a substituição das proteínas animais pelas de origem vegetal seja eficiente, é necessário que o consumo de alimentos disponha de uma ampla variedade de vegetais, os quais serão capazes de fornecer todos os aminoácidos essenciais para o metabolismo e manutenção da saúde do indivíduo. Por outro lado, do ponto de vista da satisfação das quantidades de aminoácidos essenciais, é importante ressaltar a qualidade das proteínas de origem animal, visto que também exercem papel relevante na alimentação humana devido ao alto valor nutricional e alto valor biológico, que está associado à sua composição de aminoácidos, que são classificados como essenciais ou indispensáveis (SILVA *et al.*, 2017). Ainda que seja possível estabelecer uma dieta exclusivamente vegetal, é importante salientar que, diante das diferenças entre as proteínas de origem vegetal e animal no que diz respeito a suas composições e funcionalidades, esses dois tipos de nutrientes precisam ser tratados como complementares, não devendo ser analisados separadamente (BRASIL, 2016; REIS *et al.*, 2021).

A ampla variedade de fontes de proteína, a diversidade de composições desses nutrientes e a evolução metodológica, faz com que seja necessário conhecer suas propriedades. Dessa maneira, os diversos métodos e indicadores nutricionais descritos na literatura são capazes de fornecer subsídios para a avaliação da qualidade das fontes de proteína, bem como auxiliar na compreensão de que a dieta precisa ser equilibrada e eficiente do ponto de vista nutricional. A fim de auxiliar nas questões anteriores, a literatura apresenta os métodos químicos como aqueles que são capazes de fornecer informações relacionadas à composição química e ao valor nutritivo dos alimentos. Assim, é possível

avaliar a qualidade das proteínas, pela determinação da composição dos aminoácidos, bem como permitem certas correlações (OLIVEIRA; SANTOS; WILSON, 1989). Nesse sentido, a literatura descreve o Escore Químico (EQ), Pontuação de Aminoácidos Corrigidos para Digestibilidade de Proteínas (PDCAAS), Aminoácidos Indispensáveis Digestíveis (DIAAS), Razão de Eficiência Proteica (PER), Proporção de Proteína Líquida (NPR), Digestibilidade verdadeira (DV), Utilização Líquida de Proteína (NPU) e Valor Biológico (BV) (BOYE; BETONNI; BURLINGAME, 2012).

Através dos métodos descritos, é possível estabelecer o valor nutricional das proteínas através da resposta gerada pelo organismo. Para esse fim, são realizados experimentos em cobaias que recebem a proteína testada através da dieta. Com efeito, os parâmetros usados para se obter o valor biológico são o crescimento e/ou alterações de nitrogênio na carcaça (OLIVEIRA; SANTOS; WILSON, 1989). Avaliada a relevância dos indicadores nutricionais na definição da qualidade proteica, o trabalho produzido a partir da dissertação de mestrado, buscou apresentar a evolução metodológica ao longo dos anos, considerando os resultados obtidos através das publicações que avaliaram proteínas de origem animal e vegetal a partir dos indicadores descritos na literatura.

2. METODOLOGIA

As informações apresentadas neste trabalho foram extraídas das plataformas de pesquisas, conhecidas como: Google Acadêmico, PubMed, Scielo (Scientific Electronic Library Online) e Scopus. Definidas as plataformas às pesquisas foram realizadas em português, sendo utilizadas as palavras chaves: qualidade das proteínas, proteínas vegetais, proteínas lácteas e escore químico. Entretanto, devido ao amplo resultado encontrado, observou-se que seria necessário direcionar as pesquisas para produções científicas mais precisas, ou seja, para àquelas relacionadas aos indicadores nutricionais. Por esta razão, a partir do resultado das primeiras buscas, foi realizada nova pesquisa, agora em inglês, utilizando as palavras chaves “protein bioavailability”, “protein digestibility” e “digestible indispensable amino acid score”. A partir dos resultados obtidos nas duas pesquisas sucessivas foi realizada a leitura prévia dos títulos e resumos das publicações encontradas, após esta etapa foi selecionado 34 artigos publicados nos últimos 10 anos com a utilização dos diversos indicadores nutricionais utilizados para a avaliação da qualidade das proteínas que atendiam aos objetivos dessa revisão bibliográfica.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. ESTRUTURA GERAL DAS PROTEÍNAS

As proteínas são classificadas como macromoléculas constituídas de aminoácidos (AA). Esses constituintes encontram-se unidos por ligações denominadas peptídicas, nos quais são formadas pelo grupo amino (NH₂) de um aminoácido e pelo grupo carboxílico do aminoácido seguinte, resultando na formação de uma molécula de água (ALBERTS *et al.*, 2017). Em razão das suas características e sua disposição tridimensional, as proteínas exercem ações relevantes em diversos processos biológicos. Suas funções estão relacionadas ao armazenamento e transporte de outras moléculas, à proteção imunitária, à ação catalisadora, aos impulsos nervosos, à diferenciação e ao crescimento celular (HARVEY; CHAMPE; FERRIER, 2012). Outra característica é sua propriedade anfótera, que resulta na alteração da carga elétrica da cadeia lateral. Por meio desse mecanismo é possível promover conformações estruturais diversificadas, sendo classificadas como:

primárias, secundárias, terciárias e quaternárias (HARVEY; FERRIER, 2012; NELSON; COX, 2014; VOET; VOET; PRATT, 2008).

3.2. PROTEÍNAS DE ORIGEM ANIMAL

As proteínas de origem animal são provenientes principalmente da carne de bovinos, suínos, aves e peixes, além dos ovos, leites e derivados. De maneira geral, essas proteínas possuem alto valor nutricional e biológico (PIRES *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2017). Ao contrário dos vegetais, diversos alimentos de origem animal possuem todos AA essenciais, em sua composição, ou seja, apesar de não sintetizarem ou sintetizarem em pequenas proporções, esses aminoácidos estão presente na proteína animal (NELSON & COX, 2014). Além disso, possuem teores proteicos mais altos e com proteínas de maior digestibilidade (PIRES *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2017). Por outro lado, alguns aspectos desfavoráveis devem ser considerados quando se analisa o seu consumo, como no caso: custo elevado da produção das proteínas animais, sustentabilidade, saúde e questões filosóficas e éticas, especialmente no modo de vida vegetariano ou vegano estão envolvidos à sua escolha (JANSSEN, 2016).

3.2.1. PROTEÍNAS LÁCTEAS

O leite é líquido fisiológico complexo, secretado pelas glândulas mamárias das fêmeas dos mamíferos. Pode ser considerado um alimento funcional dos mais importantes na dieta humana, pois apresenta compostos biologicamente ativos, sendo essencial em diferentes fases da vida (ZANELA; RIBEIRO, 2018). O principal tipo de leite utilizado na alimentação humana é o de vaca, cujo principal componente é a água (87,4%). Seus demais constituintes sólidos se apresentam divididos em sólidos gordurosos (3,7%), proteínas (3,4%), lactose (4,8%) e minerais (0,7%), que se apresentam divididos em três fases, sendo elas: aquosa, emulsificada e dispõe de estruturas dispersas. Das proteínas que compõe o leite, estão apresentadas, as caseínas que são compostas por subfrações α S1-caseína, α S2-caseína, k-caseína e β -caseína, e as proteínas do soro com as subfrações: β -lactoglobulina, α -lactoalbumina, imunoglobulinas, albuminas do soro bovino e lactoferrina, que se diferenciam de acordo com sua solubilidade. (DOMINGUES-SALAZ *et al.*, 2019).

3.2.1.1. CASEÍNAS

As caseínas representam 80% das proteínas do leite e são insolúveis em seu ponto isoelétrico (pH=4,6). Esse grupo de proteínas pode ser subdividido em frações denominadas α S1-caseína, α S2-caseína, k-caseína e β -caseína, as quais se organizam em complexos coloidais, chamados micelas de caseína que dispõem de ligações de fosfato de cálcio, de hidrogênio e interações hidrofóbicas. Ao longo dos anos, a complexa estrutura das micelas de caseína tem sido investigada, com o objetivo de compreender as propriedades físico-químicas e a maneira que elas refletem nos processos lácteos. Desde a década de 1960 há um debate científico sobre a organização interna dessa proteína do leite e alguns modelos foram propostos para explicar sua organização interna. Um desses modelos que é bem aceito define que região interna da micela é composta principalmente por nanopartículas de fosfato de cálcio coloidal além de α s1, α s2 e β -caseína. No caso da k-caseína, esta encontra-se localizada na superfície da estrutura (DALGLEISH; CORREDIG, 2012; HUPPERTZ, 2013; HOLT, *et al.*, 2003). Os principais tipos de caseínas são representados pela porcentagem das subfrações, e com as seguintes características em relação aos aminoácidos e massa molecular: α s1-caseína (40%, 199 23,6 kDa), α s2-caseína (10%, 207 e 25,2 kDa), k-caseína (15%, 171 e 19kDa) e β -caseína (35%, 209 e 23,9 kDa) (FARRELL, *et al.*, 2004; SWAISGOOD, 2003; DUMAS, *et al.*, 1972; MERCIER, *et al.*, 1972).

3.2.1.2. PROTEÍNAS DO SORO DO LEITE

As proteínas do soro representam 20% das proteínas do leite e constituem o grupo mais heterogêneo desses compostos. Dispõem de alto valor nutricional em função da disponibilidade de aminoácidos essenciais e digestibilidade significativa. São formadas por uma estrutura mais organizada e globular, com níveis elevados de estruturas secundárias, terciárias e quaternárias (KINSELLA; MORR, 1984; NGKWAI-HANG, 2011). Essa estrutura apresenta número variável de ligações cruzadas e algumas pontes de dissulfeto, que são capazes de produzir certa estabilidade. Os principais tipos de proteínas do soro são representados pelas subfrações com as características em relação aos aminoácidos e massa molecular, sendo elas: β -lactoglobulina (162 e de 18 a 36 kDa), α -lactalbumina (123 e 14,2 kDa), Albumina (580 e 66,2 kDa), Imunoglobulina (Ig) (150 a 1000 kDa) e Lactoferrina (691 e 76 kDa) (POPPI, *et al.*, 20

3.3. PROTEÍNAS VEGETAIS

As proteínas vegetais estão presentes nas partes estruturais das plantas, como é o caso das sementes, talos, córtex, pecíolos, folhas, frutos, flores, raízes, rizomas e tubérculos (BILDANOVA *et al.*, 2013). Diversos são os alimentos de origem vegetal que fornecem proteínas para a alimentação humana. Porém, de maneira geral, os alimentos vegetais possuem na sua composição AA limitantes, que são aqueles que apresentam concentrações menores que a exigida pelo animal ou para síntese proteica de acordo com os padrões da FAO (COSTA, *et al.*, 2014). Apesar das proteínas vegetais não disponibilizarem todos os aminoácidos essenciais em uma única fonte, como acontece no caso de diversas proteínas de origem animal, uma dieta com a combinação adequada desses alimentos pode suprir satisfatoriamente as necessidades diárias dos seres humanos. A ingestão de vegetais ao longo do dia é capaz de fornecer todos AA essenciais e assegurar a adequada retenção de nitrogênio em adultos (COUCEIRO; SLYWITCH; LENZ, 2008; POJIĆ; MISAN; TIWARI, 2018). Diversos são os vegetais que possuem quantidades relevantes de proteínas de alto valor biológico e que podem ser utilizados na alimentação humana de maneira direta. Desse grupo, podemos destacar especialmente as leguminosas como a soja, feijão, grão de bico e tremoço, que possuem teores importantes de proteína em suas composições (OLIVEIRA & VANNUCCHI, 1983).

3.3.1. LEGUMINOSAS

As leguminosas pertencem à família *Fabaceae*, comumente conhecida como leguminosae. Essa família compreende mais de 650 gêneros com mais de 18000 espécies. Os representantes dessa família caracterizam-se pelos seus frutos característicos, como é o caso das vagens, que tem a capacidade de crescer em simbiose com bactérias do solo fixadoras de nitrogênio. Com essa relação simbiótica, as leguminosas introduzem nitrogênio atmosférico em seu metabolismo, refletindo em seus relevantes teores de proteína (POLHILL; RAVEN; STIRTO, 1981). Nos dias de hoje a importância dos alimentos vegetais de maneira geral tem aumentado visivelmente, com mudanças nos hábitos alimentares no sentido de reduzir o consumo de proteínas animais, especialmente com o crescimento do vegetarianismo e veganismo (RÉVILLION *et al.*, 2020).

3.3.1.1. FRAÇÕES PROTEICAS DE RESERVA DAS LEGUMINOSAS

A maior parte das proteínas das leguminosas não tem qualquer papel metabólico ou estrutural no tecido dos cotilédones. Este grupo de alimentos são proteínas de reserva, que se mobilizam após a germinação das sementes, sendo armazenadas em vacúolos de reserva proteica (PSV). Os principais tipos de proteínas de reservas são: albuminas, globulinas, glutelinas e prolaminas. Entretanto, as leguminosas possuem também outras reservas que podem ser classificadas como proteicas ou não, que atuam na defesa na planta. Essas reservas são compostos nutricionalmente indesejáveis ou até mesmo tóxicos para animais e humanos e são chamados fatores antinutricionais (ETZLER, 1985).

3.4. FATORES ANTINUTRICIONAIS PROTEICOS

Os fatores antinutricionais são substâncias estão presente em alimentos de origem vegetal, os quais são capazes de reduzir ou impedir por completo o valor nutritivo, refletindo na capacidade de tornar o nutriente indisponível, bem como na diminuição da digestibilidade dos nutrientes ou no nível metabólico (JAYASENA; JO, 2013).

3.4.1. INIBIDORES DE PROTEASES

Os inibidores de proteases são proteínas capazes de inibir ação de algumas enzimas, como é o caso da tripsina, quimotripsina, amilase e carboxipeptidase. De maneira geral, é denominado como inibidores da primeira enzima testada, o que na maioria das vezes ocorre na tripsina. Esses inibidores são encontrados nas sementes de leguminosas, mais especificamente na soja, e são comumente considerados responsáveis pelo baixo valor nutritivo de leguminosas cruas (SGARBIERI; WHITAKER, 1982). Essas proteínas se dividem em dois grupos, sendo o primeiro grupo, chamado “Kunitz”, com alto peso molecular, de aproximadamente 20 kDa. Seus representantes apresentam duas pontes dissulfeto, 181 resíduos de aminoácidos e possuem especificidade primária para tripsina. As proteínas do segundo grupo, chamado de “Bowman-Birk” possuem peso molecular entre 6 e 10 kDa. Possuem grande quantidade de ligações dissulfeto, 71 resíduos de aminoácidos e podem inibir tripsina e quimotripsina (SILVA; SILVA, 2000).

3.4.1.1. LECTINA

As lectinas compõem uma vasta família de proteínas homólogas, das quais os exemplos mais bem caracterizados são a concanavalina e as aglutininas que estão presentes na soja e no gérmen de trigo. Além disso, as lectinas podem ser encontradas nas diversas partes da planta, mas suas maiores concentrações estão nas sementes, dentre as proteínas de reserva localizadas nos PSV. De maneira geral, são compostas por 2 ou 4 subunidades com massas moleculares de 25 a 30 kDa cada uma. Muitas são glicoproteínas e metaloproteínas contendo Ca^{2+} e Mn^{2+} (RIBEIRO, 2009).

4. INDICADORES DE QUALIDADE DE PROTEÍNA

4.1. EVOLUÇÃO DA METODOLOGIA E ASPECTOS HISTÓRICOS

Em 1957, um Grupo de Especialistas do Comitê da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (WHO) concluiu que era necessário desenvolver pesquisas que fundamentassem os métodos para avaliação da qualidade das proteínas. Em seu relatório, esse comitê discorreu sobre os “Requisitos da Proteína” e ficou definido que, para avaliar a qualidade das proteínas, era fundamental utilizar uma proteína considerada como referência, ou seja, que apresentasse em sua composição o teor de aminoácidos considerado “ideal”. No ano de 1963 um novo encontro foi realizado pelo Grupo de Especialistas da FAO/WHO com o objetivo de avaliar qual seria a necessidade da proteína humana a partir da perda de nitrogênio de uma dieta livre de proteína (FAO/WHO, 1965). Em 1971, os Especialistas do Comitê foram convocados especialmente para buscar responder aos questionamentos dos encontros anteriores. Ficou estabelecido que o nível seguro de ingestão fosse definido pela necessidade média de proteína dos indivíduos, mais 1,96 vezes o valor do desvio padrão (FAO/WHO, 1973).

No ano de 1981, uma Conferência conjunta da FAO, WHO e da Universidade das Nações Unidas (UNU) buscou revisar o entendimento sobre a qualidade das proteínas, bem como as técnicas utilizadas na pontuação de aminoácidos e os parâmetros utilizados para analisar o balanço de nitrogênio e o crescimento das cobaias nos experimentos. Nesse caso, o método *Relative Net Protein Ratio* (RNPR) foi considerado o mais adequado quando

comparado ao PER, uma vez que o RNPR é proveniente da comparação entre os aminoácidos presentes nos alimentos. Com essas discussões e definições, ficou clara a necessidade da realização de pesquisas que buscassem aprimorar e padronizar os parâmetros para análise de aminoácidos para que fosse possível definir a pontuação padrão dos aminoácidos a partir da digestibilidade da proteína e biodisponibilidade dos aminoácidos (FAO/WHO/UNU, 1985).

Entre os anos de 2001 e 2002, o Grupo de Especialistas da FAO/WHO/UNU, reuniu-se novamente para avaliar as “Necessidades de Proteínas e Aminoácidos na Nutrição Humana”. Além disso, esse encontro técnico procurou definir um método que fosse utilizado pelo *Codex Alimentarius* na avaliação a qualidade da proteína e na sua rotulagem. Apesar de o PDCAAS ser amplamente aceito desde 1991, diversas críticas e questionamentos foram levantados. Esse método pode ser inadequado para a análise das proteínas consideradas de alta qualidade, uma vez que não reconhece o seu valor nutricional como complemento para as proteínas de baixa qualidade. Também há divergências a respeito da adequação desse método para avaliar a qualidade das proteínas de dietas enterais, de novas fontes de proteínas com teor considerável de fatores antinutricionais e de proteínas de uma única fonte, como no caso das fórmulas infantis. Em relação à presença dos fatores antinutricionais, a qualidade proteína será superestimada, uma vez que interferiria na digestibilidade dos aminoácidos e, conseqüentemente, na utilização das proteínas. Além disso, o PDCAAS pode apresentar resultados pouco precisos quando existem alguns aminoácidos com biodisponibilidade reduzida no alimento. Por essa razão, foi recomendado que houvesse a necessidade de aprimorar a pontuação dos aminoácidos através de informações precisas sobre a digestibilidade e a biodisponibilidade, considerando cada indivíduo e a demanda de aminoácidos essenciais na dieta (FAO/WHO/UNU, 2007).

Após todas as discussões, foi produzido um relatório no ano de 2007 que revisou as recomendações de proteína e aminoácidos de acordo com a faixa etária definida e propôs algumas alterações nos cálculos utilizados para a avaliação da qualidade das proteínas. Os relatórios anteriores definiram que o padrão de pontuação se daria através da divisão dos aminoácidos de exigência pelo nível seguro da ingestão de proteínas. Já os relatórios produzidos pela FAO/WHO/UNU em 2007 definiram que os padrões de pontuação são baseados na necessidade de aminoácidos, sendo dividido pela necessidade proteica média. Outra questão pontuada nesse relatório foi em relação à oposição presente entre a digestibilidade ileal e fecal para o cálculo do PDCAAS. Por esta razão, a partir das informações descritas na literatura foram avaliadas as diferenças existentes a partir de

resultados encontrados em animais não ruminantes (porcos e ratos) e em humanos. Dessa maneira, compreendeu-se que apesar da digestibilidade fecal ser um parâmetro adequado para avaliar a digestibilidade geral do nitrogênio, a digestibilidade ileal refletia melhor a digestibilidade e absorção dos aminoácidos (FAO/WHO/UNU, 2007). Finalmente, no ano de 2011 foi realizada mais uma Consulta aos Especialistas da FAO em Auckland, Nova Zelândia, onde ficou recomendada a substituição do PDCAAS pela pontuação de aminoácidos indispensáveis digeríveis (DIAAS), como parâmetro para avaliação da qualidade da proteína (FAO, 2013).

4.2. DEFINIÇÕES E MÉTODOS DE CÁLCULO

4.2.1. COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA PROTEICA (PER)

O PER é um indicador considerado oficial no Canadá e nos Estados Unidos para avaliação da qualidade proteica nos alimentos. Por se tratar de um indicador baseado em um método biológico, leva em consideração a utilização das proteínas pelo organismo avaliado, relacionando o ganho de peso de um animal em crescimento com seu consumo de proteína (ANGELIS, 1995). É possível também determinar o coeficiente de eficiência proteica relativa (R-PER), relacionando o PER encontrado em um experimento com o PER de uma dieta considerada padrão (100%), à base de caseína. Assim, o PER pode ser calculado através da equação:

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

4.2.2. COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA LÍQUIDA DA PROTEÍNA (NPR)

O NPR é um indicador baseado em um método biológico que consiste em medir eficiência da proteína em manter e aumentar o peso corporal. Para isso, leva em consideração as variações de peso corporal, considerando o peso que o animal teria perdido se não tivesse ingerido a proteína. Esse método é baseado nas pesquisas realizadas por Bender & Doell (1957), que relacionaram o consumo da proteína do grupo teste (g) com o

ganho de peso desse grupo mais a perda de peso do grupo que consumia uma dieta aprroteica (g). Assim, o NPR pode ser calculado através da equação:

$$\text{NPR} = \frac{\text{ganho de peso do grupo teste (g)} + \text{perda de peso do grupo com dieta aprroteica (g)}}{\text{proteína consumida pelo grupo teste (g)}}$$

4.2.3. COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO LÍQUIDA DA PROTEÍNA (NPU)

O NPU é um indicador que se baseia na comparação da retenção nitrogenada de um grupo teste com um grupo controle alimentado com uma dieta aprroteica. Esse método é capaz de estabelecer a quantidade de nitrogênio total utilizada através da carcaça do animal, mas não leva em consideração fatores como a digestibilidade da proteína (SOUZA *et al.*, 2006). Assim, o NPU pode ser calculado através da equação:

$$\text{NPU} = \frac{\text{N retido da carcaça do grupo teste} - \text{N retido na carcaça do grupo controle}}{\text{N consumido pelo grupo teste}}$$

4.2.4. VALOR BIOLÓGICO (VB)

O VB é um indicador que relaciona a quantidade nitrogênio retida e a quantidade de nitrogênio absorvido pelo organismo, em porcentagem. Esse método biológico leva em consideração o nitrogênio de origem endógena, encontrados nas fezes e na urina, que é determinada no grupo controle com dieta aprroteica. Esse método, porém, não considera a digestibilidade da proteína (BARBOSA, 2009). O valor da NPU é calculado através da equação:

$$\text{VB} = \frac{\text{N ingerido} - (\text{N fecal de origem alimentar} + \text{N urinário de origem alimentar})}{\text{N ingerido} - \text{N fecal de origem alimentar}}$$

Onde:

N fecal de origem alimentar = N fecal – N fecal endógeno

N urinário de origem alimentar = N urinário – N urinário endógeno

4.2.5. BIODISPONIBILIDADE DE AMINOÁCIDOS

A biodisponibilidade está relacionada à proporção de aminoácidos presente em uma dieta consumida em relação ao que é de fato utilizado para síntese ou metabolismo das proteínas. Apesar de não existir um método de cálculo definido, é possível analisar esse parâmetro através da digestibilidade *in vivo* ou definido a partir dos ensaios que estabelecem a razão de inclinação de uma proteína de referência (STEIN; SÈVE; FULLER, 2007).

4.2.6. DIGESTIBILIDADE

A digestibilidade é considerada uma porção do alimento que não é eliminada nas fezes, mas é absorvida, degradada e posteriormente aproveitada pelo animal. Para que seja realizada uma avaliação precisa do coeficiente de degradação dos alimentos observou-se a necessidade do desenvolvimento de técnicas que minimizassem os efeitos de interferências externas, como é o caso da granulometria, taxa de passagem e composição química. Assim, pesquisadores elaboraram os métodos de determinação da digestibilidade, classificados como: *in vivo*, *in vitro* e *in situ* (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

4.2.6.1. DIGESTIBILIDADE APARENTE (DA)

É mensurada através de cálculos que visam quantificar a fração dos nutrientes que não são excretados nas fezes, sem fazer distinção entre aqueles nutrientes que são originários das frações indigeríveis dos alimentos, secreções endógenas e descamações mucosas, por exemplo. A partir dos valores encontrados é possível definir o que foi digerido pelo animal. O coeficiente de digestibilidade mais elevado nos ingredientes e nutrientes indica a eficiência do seu uso pelos animais (BERGAMIN *et al.*, 2013; CRUZ, 2006). Assim, a digestibilidade aparente pode ser calculada através da equação:

$$DA (\%) = \frac{\text{g de nutriente ou Kcal ingerido} - \text{g de nutriente ou Kcal excretado}}{\text{g de nutriente ou Kcal ingerido}} \times 100$$

4.2.6.2. DIGESTIBILIDADE VERDADEIRA (DV)

É mensurada pela quantidade de proteína que é hidrolisada até chegar aos AA, pelas enzimas digestivas. Esse indicador, então, refere-se à susceptibilidade das proteínas à ação das enzimas hidrolíticas e tem relação direta com o valor nutritivo dos alimentos. A DV é determinada pela determinação do nitrogênio ingerido através da dieta e aquele eliminado pelas fezes. No caso do nitrogênio eliminado, é considerada tanto a proteína de origem alimentar não digerida como o nitrogênio de origem endógena ao organismo do animal (SGARBIERI, 1987). Assim, a digestibilidade verdadeira pode ser calculada através da equação:

$$DV (\%) = \frac{NI - (NF - NF_k)}{NI} \times 100$$

Onde:

NI =Nitrogênio ingerido pelo grupo teste.

NF =Nitrogênio fecal do grupo teste.

NF_k =Nitrogênio fecal do grupo com dieta aprotéica.

4.7. ESCORE QUÍMICO DOS AMINOÁCIDOS (EQ)

O EQ é um parâmetro que relaciona a quantidade de cada AA existente na proteína que está sendo estudada com a quantidade correspondente desse AA em uma proteína considerada como referência. O EQ pode ordenar os AA limitantes na proteína em estudo e dar uma indicação do valor biológico ou nutritivo da proteína (SGARBIERI, 1987). A partir dessas informações poderá ser estimada a necessidade de aminoácidos essenciais para crianças da faixa etária de dois a cinco anos de idade (pré-escolares), de acordo com as recomendações da FAO. Assim, o Escore químico pode ser calculado através da equação:

$$EQ = \frac{\text{mg AA / g da proteína teste}}{\text{mg AA / g da proteína padrão}}$$

4.8. ESCORE QUÍMICO DOS AMINOÁCIDOS CORRIGIDO PELA DIGESTIBILIDADE PROTEICA (PDCAAS)

O PDCAAS relaciona o EQ com a DV. Esse indicador foi considerado ideal pela FAO por muitos anos e utiliza o escore do primeiro aminoácido essencial limitante da proteína em estudo, corrigindo-o pela digestibilidade verdadeira dessa proteína, previamente determinada (SCHAAFSMA, 2000) Assim, o PDCAAS poderá ser calculado através da equação:

$$\text{PDCAAS (\%)} = \frac{\text{EQ} \times \text{DV}}{100}$$

Onde:

EQ = Escore Químico do primeiro AA limitante da proteína testada

DV = Digestibilidade Verdadeira da proteína testada

4.9. PONTUAÇÃO DE AMINOÁCIDOS INDISPENSÁVEIS DIGERÍVEIS (DIAAS)

Esse indicador é considerado atualmente o mais indicado para avaliar a qualidade das proteínas. O DIAAS foi, inclusive, recomendado para substituição do PDCAAS como indicador padrão pela FAO, a partir do ano de 2011. Para a quantificação da qualidade das proteínas, o DIAAS relaciona a quantidade de aminoácidos indispensáveis digerível na proteína utilizada pela quantidade do mesmo aminoácido em uma proteína de referência. Quando os valores encontrados são iguais ou superiores a 100% a dieta dispõe de excelente fonte de proteína, fornecendo quantidades satisfatórias de aminoácidos. Resultados variando entre 75 e 99% representam concentrações satisfatórias de proteínas enquanto valores inferiores a 75% indicam teores de proteína abaixo do recomendado (FAO, 2013). Assim, o DIAAS pode ser calculado através da equação:

$$\text{DIAAS (\%)} = \frac{\text{mg de AA dietético indispensável digerível em 1 g de proteína dietética}}{\text{mg do mesmo AA indispensável na dieta em 1g da proteína de referência}}$$

5. APLICAÇÃO DOS INDICADORES E SEUS DESAFIOS

Por mais de 20 anos o PDCAAS foi considerado pela FAO como indicador mais adequado para a correta avaliação da qualidade das proteínas dos alimentos. Porém, como vimos na subseção anterior, com o passar do tempo e com a evolução das discussões a respeito desse tema, o Conselho de Especialistas da FAO acabou modificando sua recomendação e substituindo o PDCAAS pelo DIAAS como indicador mais adequado, recomendação essa que permanece até os dias de hoje. Ainda assim algumas divergências e dúvidas persistem a respeito desse tema, o que acaba por refletir na utilização de diferentes indicadores em pesquisas científicas e por órgãos oficiais de alguns países. É o caso do Canadá e dos Estados Unidos, que utilizam o Coeficiente de Eficiência Proteica (PER) na avaliação da qualidade proteica, apesar das recomendações diferentes (FAO, 2013).

Em estudos científicos recentes de avaliação da qualidade das proteínas de diversos tipos de alimentos, variados indicadores também têm sido usados. Alguns desses estudos acabam por concluir que o PDCAAS e o DIAAS indicam ser, de fato, mais adequados para esse fim. Lee *et al.* (2022) determinaram a qualidade das proteínas de peito de frango de baixo peso molecular em pó hidrolisado (LWCP), utilizando os indicadores NPR, PER e PDCAAS. Foram comparados os resultados de 5 dietas proteicas diferentes, em camundongos, sendo uma delas baseada na proteína do LWCP. Quando analisados os resultados de NPR e PER, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos. Em contrapartida, o PDCAAS demonstrou claramente que o LWCP possui qualidade significativamente superior às outras proteínas utilizadas no ensaio. Esse resultado mostra que o PDCAAS apresenta resultados diferentes dos outros indicadores usados, e que a correção do score de AA pela digestibilidade aparentemente é mais adequada para avaliar a qualidade das proteínas, comparativamente com o NPR e PER.

Em outro estudo, agora com proteínas de origem vegetal, Han *et al.* (2020) avaliaram a qualidade das proteínas de seis tipos diferentes de leguminosas. Os vegetais foram cozidos e utilizados como única fonte de proteínas para grupos de leitões em crescimento. Foi determinada a digestibilidade ileal verdadeira dos AA e calculado o DIAAS para avaliar a qualidade das proteínas de cada leguminosa. Com a utilização desse indicador foi possível identificar diferenças significativas entre os tratamentos e ainda relacionar esses resultados com as diversas faixas etárias dos humanos. Isso demonstra o potencial indicador e a sua importância. Corroborando com a recomendação da FAO, Mathai, Liu & Stein (2017)

demonstraram que o DIAAS se apresenta como um indicador mais adequado para descrever a qualidade de proteínas animais e vegetais do que o PDCAAS. Nesse estudo científico, os valores de PDCAAS foram significativamente superiores aos do DIAAS para farinha de soja e trigo, considerando a faixa etária de bebês de 6 a 26 meses de idade. Esse resultado possivelmente ocorreu devido à superestimação da qualidade dessas proteínas de origem vegetal, a limitação do PDCAAS já descrita em outras publicações (FAO/WHO/UNU, 2007; HUANG *et al.*, 2018).

Outras limitações inerentes ao método de determinação do PDCAAS já haviam sido levantadas nas conferências da FAO (FAO/WHO, 1991; FAO/WHO/UNU, 2007). Huang *et al.* (2018) fizeram uma série de considerações a respeito dessas limitações em seu estudo de revisão. Além de possivelmente superestimar a qualidade de algumas proteínas, sobretudo vegetais, outras críticas ou questionamentos são feitos ao PDCAAS. Seus valores têm limite máximo de 1,0 (100%). Acontece que alguns alimentos de alto valor nutricional e biológico, como leite (creme integral, pasteurizado) e ovos (líoofilizado em pó), que poderiam alcançar uma pontuação de 1,27 e 1,01, respectivamente, seriam pontuados como 1,0. Isso faz com que dietas mistas tenham a importância das suas proteínas estimada de maneira incorreta. A digestibilidade fecal verdadeira, que é utilizada para o cálculo do PDCAAS também não aparenta ser a mais adequada para medir a digestibilidade total dos AA. Alguns AA são absorvidos no intestino, fazendo com que a digestibilidade ileal possa ser usada de maneira mais assertiva. De fato, foram essas e outras limitações que fizeram com que a FAO recomendasse a substituição do PDCAAS pelo DIAAS (FAO, 2013).

Ainda assim, diversos outros estudos ainda utilizam os variados indicadores em suas metodologias para determinação da qualidade das proteínas (LEE *et al.*, 2022; NOSWORTHY *et al.*, 2017; JIMÉNEZ; RODRÍGUEZ; QQUENTA, 2020). E, dessa forma, vão permanecendo as discussões e questionamentos a respeito do indicador mais adequado. A síntese dos artigos publicados trata da avaliação da qualidade das proteínas através dos diversos indicadores nutricionais, selecionados por esse estudo de revisão, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Desde o ano de 2013, o DIASS é recomendado e considerado o indicador ideal para avaliar a qualidade das proteínas. Entretanto, ainda que seja claro que esse método é o melhor disponível, ele também possui limitações e possivelmente não será um método definitivo (WOLFE *et al.*, 2016). A principal limitação desse método atualmente diz respeito ao fato de que em seu cálculo são utilizados valores de digestibilidade ileal verdadeira de proteínas de referência. Acontece que ainda são escassas informações confiáveis dessas

pontuações, além de poucos estudos sobre alguns alimentos comuns aos humanos, como frutas e verduras (JOHNSTON; LYNCH; WHARTON, 2020). A metodologia usada para a obtenção dos requerimentos de AA essenciais também possui diversas limitações teóricas e técnicas. Assim, é imprescindível que mais estudos sejam realizados a fim de melhorar a precisão desses valores para que a avaliação da qualidade proteica da dieta por meio do DIAAS atinja seu objetivo (WOLFE *et al.*, 2016).

Tabela 1. Revisão de literatura dos trabalhos que avaliam a qualidade das proteínas de origem animal a partir dos indicadores nutricionais.

Alimento	Metodologia	Indicadores	Conclusões	Referência
LWCP (Peito de frango hidrolisado em pó de baixo peso molecular)	<ul style="list-style-type: none"> • Cobaias: ratos divididos em cinco grupos. • Tempo: 5 dias após adaptação inicial; • 4 tratamentos com substituição da caseína por outras fontes de proteína, incluindo a proteína testada e 1 controle. 	PER PDCAAS NPR	<ul style="list-style-type: none"> • Não houve diferença significativa dos indicadores PER e NPR entre os tratamentos; • Valores de PDCAAS destacou a proteína testada se entre as demais. 	LEE <i>et al.</i> , 2022
Proteína do soro de leite (<i>whey protein</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Suplementos <i>whey protein</i> adquiridos no mercado. • Amostras hidrolisadas, preparadas e filtradas • Determinação de AA em HPLC. • Determinação de digestibilidade <i>in vitro</i> 		<ul style="list-style-type: none"> • As proteínas de soro de leite incluídas neste estudo contêm quantidades baixas de AA essenciais e de cadeia ramificada. • Todas amostras com baixa digestibilidade proteica. • PDCAA baixo na maioria das amostras. 	PEHLIVANOĞLU; BARDAKÇI; YAMAN, 2022
Hambúrgueres de origem animal e à base de plantas	<ul style="list-style-type: none"> • Cobaias: 10 leitões; • Seis dietas experimentais. • Tempo: 6 períodos de 9 dias. • Digesta coletada nos dias 8 e 9 de cada período. 		<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade da proteína dos hambúrgueres de origem animal é maior do que a dos hambúrgueres à base de plantas; • 1 amostra de hambúrguer vegetal tem qualidade proteica comparável ao hambúrguer de carne magra; • O DIAAS obtido a partir de alimentos individuais pode indicar o DIAAS de refeições mistas. 	FANELLI <i>et al.</i> , 2022
<i>Nuggets</i> com glúten e farinha andina	<ul style="list-style-type: none"> • 20 amostras com misturas diferentes de farinhas • Determinação das quantidades de AA através de dados teóricos (método PDCAAS). 	PDCAAS	<ul style="list-style-type: none"> • PDCAAS variando de 0,38 a 0,42; cujos valores correspondem a uma faixa etária pré-escolar; • Todos tiveram a Lisina como aminoácido limitante, devido ao alto percentual de glúten. 	JIMÉNEZ; RODRÍGUEZ; QUENTA, 2020
Carne bovina	<ul style="list-style-type: none"> • 5 tratamentos: bife de carne bovina cru, cozido, grelhado, frito ou assado, seguido de moagem. • Cobaias: porcos em crescimento. • Amostras de digesta ileal terminal foram coletadas sob anestesia para determinação do DIAAS. 		<ul style="list-style-type: none"> • Carne cozida teve a maior teor de aminoácidos digestíveis, carne assada o menor; • DIAAS foi maior para os tratamentos de carne crua, cozida e frita do que para carne assada ou grelhada; • Condições de cozimento afetam o verdadeiro conteúdo de aminoácidos digestíveis ileais e DIAAS da carne bovina. 	HODGKINSON <i>et al.</i> , 2017

Tabela 1. Revisão de literatura dos trabalhos que avaliam a qualidade das proteínas de origem vegetal a partir dos indicadores nutricionais.

Alimento	Metodologia	Indicadores	Conclusões	Referência
Feijão, feijão mungo, feijão azuki, favas, ervilha e grão de bico	<ul style="list-style-type: none"> • Cobaias: sete porcos, equipados com cânula T no íleo terminal. • Sete dietas (seis leguminosas e uma sem proteína) em seis períodos de sete dias em seis repetições independentes. • Elaboração da dieta: uma leguminosa para cada dieta, como única fonte de PTN bruta e AA, de modo que fossem isonitrogenadas com base nos teores de PTN bruta dos ingredientes; • Uma dieta livre de N foi utilizada para as perdas do N endógeno íleo basal. 	PDCAAS	<ul style="list-style-type: none"> • Os valores de DV para os AA indispensáveis foram maiores para favas e menores para feijão e para as demais leguminosas. • Para a crianças acima de 3 anos, adolescentes e adultos, o DIAAS (%) foi de 88 para feijão, 86 para feijão mungo, 76 para grão de bico, 68 para ervilha, 64 para feijão azuki e 60 para fava. • Os valores do DIAAS podem ser usados para formular dietas balanceadas para humanos e informar uma complementação racional de proteínas de cereais com leguminosas. 	HAN <i>et al.</i> , 2020
Dieta vegetariana, dieta onívora	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar a qualidade da proteína dietética usando o método DIAAS em atletas de resistência vegetarianos e onívoros. • Trinta e oito onívoros e 22 vegetarianos apresentaram registros alimentares de sete dias que foram analisados quanto ao conteúdo de nutrientes, e os escores do DIAAS. • A média de proteína disponível (g) foi comparada com a massa corporal magra e força dos participantes. 	DIAAS	<ul style="list-style-type: none"> • Os escores DIAAS e proteína disponível foram maiores para atletas onívoros versus vegetarianos (+11% e +43%, respectivamente, $p < 0,05$). • Os participantes onívoros tinham massa corporal magra significativamente maior do que os participantes vegetarianos (+14%), e existiam correlações significativas entre proteína disponível e força ($r = 0,314$) e proteína disponível e massa corporal magra ($r = 0,541$). • Conforme o DIAAS, os atletas vegetarianos neste estudo precisariam consumir, em média, 10 g adicionais de proteína diariamente para atingir a ingestão recomendada de proteína (1,2 g/kg/d). • Um adicional de 22 g de proteína por dia seria 	JOHNSTON; LYNCH; WHARTON, 2020

<p>Isolado de proteína de soro de leite (WPI), concentrado de proteína de soro de leite (WPC), concentrado de proteína de leite (MPC), desnatado leite em pó (SMP), concentrado de proteína de ervilha (PPC), isolado de proteína de soja (SPI), farinha de soja e trigo integral.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizaram-se porcos para o estudo. • Comparar o DIAAS de quatro proteínas animais e quatro proteínas vegetais. • Calculo conforme o PDCAAS. • Valores para digestibilidade total padronizada (STTD) de proteína bruta (PB) e digestibilidade ileal padronizada (SID) de aminoácidos (AA). 	<p>PDCAAS DIAAS</p>	<p>necessário para alcançar uma ingestão de 1,4 g/kg/d, o limite superior da faixa de ingestão recomendada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Os valores para SID dos AA mais indispensáveis em WPI, WPC e MPC foram maiores ($P < 0.05$) do que para SMP, PPC, SPI, farinha de soja e trigo. • A arginina e do triptofano, o SID de todos os AA indispensáveis no SPI foi maior ($P < 0.05$) do que na farinha de soja. • A treonina, o SID de todos os AA indispensáveis no trigo foi menor ($P < 0.05$) do que em todos os outros ingredientes. • Se o mesmo padrão de pontuação para crianças entre 6 e 36 meses foi usado para calcular os valores semelhantes a PDCAAS e DIAAS, os valores semelhantes a PDCAAS foram maiores ($P < 0.05$). • Os valores DIAAS para SMP, PPC, SPI, farinha de soja e trigo, indicando que os valores do tipo PDCAAS estimados em suínos podem superestimar a qualidade dessas proteínas 	<p>MATHAI, LIU E STEIN (2017)</p>
<p>Leguminosas canadenses: Ervilhas verde e amarela, lentilhas verde e vermelha, grão de bico, feijão da marinha, feijão pinto, feijão vermelho claro e feijão preto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cobaias: ratos • Leguminosas cozidas como fonte de proteínas testadas • Dietas mistas formuladas com 10% de proteína e ajustadas para as necessidades dos ratos; • Adaptação de 4 dias seguindo fase de equilíbrio de 5 dias. 	<p>PER PDCAAS DIAAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • As leguminosas canadenses contêm proteína altamente digerível (normalmente superior a 80%). • Os AA sulfurados ou triptofano são o primeiro aminoácido limitante. • De acordo com o PDCAAS, o feijão da Marinha, ervilhas amarelas, grão de bico e feijão pinto podem ser classificados como “Boa Fonte de Proteína” para os padrões dos Estados Unidos. 	<p>NOSWORTHY <i>et al.</i>, 2017</p>

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correta avaliação da qualidade das proteínas dos alimentos, seja de origem vegetal ou animal, é fundamental para a adoção de dietas equilibradas e que possam suprir todos os requerimentos nutricionais adequados para cada faixa etária na alimentação humana. E para que essa avaliação possa ser feita corretamente, o conhecimento e a adoção da metodologia e dos indicadores corretos são fundamentais. Diversos são os indicadores nutricionais que estão relacionados à avaliação da qualidade das proteínas descritos na literatura e, nesta pesquisa quisemos apresentá-los, bem como os estudos que os utilizam. Ao longo dos anos, muitos resultados controversos e discussões a respeito da adoção dos indicadores mais adequados têm sido conduzidos, especialmente por órgãos como a OMS e FAO. Essa revisão bibliográfica apresenta um breve histórico a respeito dessa evolução dos métodos oficiais de avaliação das proteínas, as descrições e métodos de cálculo para os diversos indicadores nutricionais usados para esse fim, bem como uma síntese dos artigos publicados nos últimos 10 anos relacionados a esse tema. Fica clara a grande diversidade de metodologias e indicadores utilizados nas pesquisas, mas também há uma nítida indicação da correta recomendação pela FAO do DIAAS como indicador nutricional mais adequado para avaliar a qualidade das proteínas das diversas fontes existentes. Entretanto, vale ressaltar a conclusão corroborada pela maioria dos pesquisadores de que são necessários mais estudos para que a metodologia e os parâmetros necessários para a determinação do DIAAS possa ser realizada de maneira mais eficaz e assertiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, B. *et al.* **Biologia molecular da célula**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- ANGELIS, R. C. Valor nutricional das proteínas métodos de avaliação. *In*: COLLI, C.; LAJOLO, F. M.; VANUCCHI, H. **Cadernos de Nutrição - Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição**. São Paulo: SBAN, v.10, p. 8-29, 1995.
- AZEVEDO, E. C. C. *et al.* Padrão alimentar de risco para doenças crônicas não transmissíveis e sua associação com gordura corporal – uma revisão sistemática. **Ciência e Saúde coletiva**, v. 19, n. 5, p. 1447-1458, 2014.
- BARBOSA, M. M. **Composição em aminoácidos e digestibilidade *in vivo* de proteínas do arroz nativo, espécie *Oryza latifolia*, da região do Pantanal do Estado do Mato Grosso do Sul**. 2009. Dissertação (Mestrado em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
- BENDER, A. E.; DOELL, B. H. Biological evaluation of proteins; a new aspect. **The British Journal of Nutrition**, v. 11, n. 2, 1957.
- BERGAMIN, G. T. *et al.*, Apparent digestibility of plant meal subjected to antinutrient removal in diets for South American catfish. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.8, p. 928-934, 2013.
- BILDANOVA, L. L.; SALINA, E. A.; SHUMNY, V. K. Main properties and evolutionary features of antifreeze proteins. **Russian Journal of Genetics: Applied Research**, v.3, n.1, p. 66-82, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Universidade Federal de Minas Gerais. **Desmistificando dúvidas sobre alimentação e nutrição: material de apoio para profissionais de saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, p. 164, 2016.
- BOYE, J.; BETONNI, R. W.; BURLINGAME, B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. **British Journal of Nutrition**, v.118, n.2, p.183-211, 2012.
- COSTA, F. G, *et al.* Exigência de aminoácidos para aves. *In*: SAKAMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de Não Ruminantes**. Jaboticabal: Funep-Unesp, 2014. cap. 4, p. 240-261.
- COUCEIRO, P.; SLYWITCH, E.; LENZ, F. Padrão alimentar da dieta vegetariana. **Einstein**, v.6, n.3, p. 365-373, 2008.
- CRUZ, A. C. R. F. **Balanço energético em indivíduos saudáveis após consumo de grão, pasta, farinha ou óleo de amendoim**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

DALGLEISH, D. G., CORREDIG, M. The structure of the casein micelle of milk and its changes during processing. **Annual Review of Food Science and Technology**, v.3, n.1, p. 449-467, 2012.

DOMINGUES-SALAZ *et al.* Contribution of milk production to food and nutrition security. *In*: FERRANTI, P.; BERRY, E. M.; ANDERSON, J. R. (eds.). **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**. Amsterdam: Elsevier, v. 3, p. 278-291, 2019.

DUMAS, B. R. *et al.* Structure primaire de la caseine beta bovine: Sequence complete. **European Journal of Biochemistry**, v.25, n.3, p. 505-514, 1972.

ETZLER, M. E. Plant lectins: molecular and biological aspects. **Annual Review of Plant Physiology**, v.36, p.209-234,1985.

FANELLI, N. S. *et al.* Digestible indispensable amino acid score (DIAAS) is greater in animal-based burgers than in plant-based burgers if determined in pigs. **European Journal of Nutrition**, v.61, n.1, p.461-475, 2022.

FARRELL, J. H. M. *et al.* An integrated top-down and bottom-up strategy for broadly characterizing protein isoforms and modifications. **National Library of Medicine**, v.8, n.3, p. 1347-1357, 2009.

FARRELL, H. M. *et al.* Nomenclature of proteins of cow's milk: sixth revision. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 1641-74, 2004.

FAO. **Dietary protein quality evaluation in human nutrition**: Report of an FAO Expert Consultation [Auckland, New Zealand, 31 March–2 April, 2011]. Roma: FAO, 2013.

FAO/WHO. **Protein Requirements**: Report of a Joint FAO/WHO expert group [Geneva, 8-17 October, 1963]. Genebra: WHO, 1965.

FAO/WHO. **Energy and protein requirements**: Report of a Joint FAO/WHO ad hoc expert committee [Rome, 22 March to 2 April, 1971]. Genebra: WHO, 1973.

FAO/WHO. **Protein Quality Evaluation**: Report of a Joint FAO/WHO expert consultation [Bethesda, 4-8 December, 1989]. Roma: FAO, 1991.

FAO/WHO/UNU. **Energy and protein requirements**: report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation [Rome, 5-17 October 1981]. Genebra: WHO, 1985.

FAO/WHO/UNU. **Protein and amino acid requirements in human nutrition**: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation [Geneva, 2002]. Genebra: WHO, 2007.

FAO. **Protein Requirements**: Report of the FAO Committee [Rome, Italy, 24-31 October 1955]. Roma: FAO, 1957.

HAN, F. *et al.* Digestible Indispensable Amino Acid Scores (DIAAS) of Six Cooked Chinese Pulses. **Nutrients**, v.12, n.3831, 2020.

HARVEY, R. A.; CHAMPE, P. C.; FERRIER, D. R. **Bioquímica Ilustrada**. 5 ed. São Paulo: Artmed, 2012.

HOLT, C., *et al.* Substructure of bovine casein micelles by small-angle X-ray and neutron scattering. **Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects**, v.213, p. 275-284, 2003.

HODGKINSON, S. M. Cooking Conditions Affect the True Ileal Digestible Amino Acid Content and Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) of Bovine Meat as Determined in Pigs. **Journal of Nutrition**. 2017.

HUANG, S. *et al.* Review: Amino acid concentration of high protein food products and an overview of the current methods used to determine protein quality. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.58, n.15, p.2673-2678, 2018.

HUPPERTZ, T. Chemistry of the caseins. *In* FOX, P.F; MCSWEENEY, P.L.H **Advanced dairy chemistry**. Boston: Springer US, 2013.

GRANATO, *et al.* Effects of herbal extracts on quality traits of yogurts, cheeses, fermented milks and ice creams: a Technological perspective. **Food Science**, v.19, p.1-7, 2018.

JANSSEN, M. *et al.* Motives of consumers following a vegan diet and their attitudes towards animal agriculture. **Appetite**, v.105. p.643–651, 2016.

JAYASENA, D. D; JO, C. Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v.34, n.2, p.96-108, 2013.

JIMÉNEZ; A. M. T.; RODRÍGUEZ, A. D. C.; QQUENTA, D. S. Elaboración de Nuggets a base de gluten y harinas andinas de la región de Puno. **Acta Nova**, v.9, n.5, p.669-685, 2020.

JOHNSTON, C. S.; LYNCH, H.; WHARTON, C. Reply to “Limitations of the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) and Choice of Statistical Reporting. Comment on “A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes.” *Nutrients* 2019, 11, 3106”. **Nutrients**, v.12, n.1184, 2020.

LEE, J. A. Determination of the Protein Quality of Low-Molecular Weight Water-Soluble Chicken Breast Powder by a Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) Analysis. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**, v.51, n.5, p.439-447, 2022.

KINSELLA, J. E.; MORR, C, V. Milk proteins: physico-chemical and functional properties. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.21, p.197-262, 1984.

MATHAI, J. K.; LIU, Y.; STEIN, H. H. Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). **British Journal of Nutrition**, v.117, p.490–499, 2017.

NELSON, D. L.; COX, M.M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 4 ed. São Paulo: Artmed, 2014.

NG-KWAI-HANG, K. F. Milk Proteins: Heterogeneity, Fractionation, and Isolation. *In*: Fuquay, J. W. (ed.), Fox, P. F.; MCSWEENEY, P.L.H. **Encyclopedia of Dairy Sciences**. London: Academic Press, 2011.

NOSWORTHY, M. G. *et al.* Determination of the protein quality of cooked Canadian pulses. **Food Science and Nutrition**, v.5, n.4, p.896–903, 2017.

MERCIER, J. C. *et al.* Structure primaire du caséinomacropéptide de la caséine κB1 bovine. **European Journal of Biochemistry**, v.27, n.3, p.535-547, 1972.

OLIVEIRA, J. E. D.; SANTOS, A. C.; WILSON, E. D. **Nutrição Básica**. São Paulo: Editora Sarvier, 1989.

OLIVEIRA, K. *et al.*, Uso de indicadores indigestíveis obtidos *in situ* e *in vivo* para determinar a digestibilidade de nutrientes em equinos. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária Zootecnia**, v.66, n.3, p.911-918, 2014.

OLIVEIRA, J.E.D. & 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.

OLIVEIRA, V. C. D. **Alergia à proteína do leite de vaca e intolerância à lactose: abordagem nutricional e percepções dos profissionais da área de saúde**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

PAVITHRA, M.; SRIDHAR, K. R.; GREESHMA, A. A. Nutraceutical Profile of the Ceylon Spinach (*Talinum triangulare*). **Journal of Health and Allied Sciences**, v.12, p.1-8, 2022.

PIRES, C. V. *et al.* Qualidade nutricional e escore químico de aminoácidos de diferentes fontes proteicas. **Food Science and Technology**, v.26, n.1, 2006.

PEHLIVANOĞLU, H.; BARDAKÇI, H. F.; YAMAN, M. Protein quality assessment of commonly consumed commercial whey protein supplements in Turkey by amino acid score corrected for *in vitro* protein digestibility (PDCAAS). **Food Science and Technology**, v. 42, 2022.

POJIĆ, M.; MISAN, A.; TIWARI, B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. **Trends in Food Science & Technology**, v.75, p.93-104, 2018.

POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H.; STIRTO, C. H. Evolution and Systematics of the *Leguminosae*. In: POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H. (eds.). **Advances in Legume Systematics**. Richmond: Kew Royal Botanic Garden, p.1-26, 1981.

POPPI, F. A. *et al.* Soro de Leite e Suas Proteínas: Composição e Atividade Funcional. **Ciência, Biologia e Saúde**, v.12, n.2, p. 31-37, 2010.

RÉVILLION, J. P. *et al.* O mercado de alimentos vegetarianos e veganos: características e perspectivas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.37, n.1, 2020.

REIS, T. S. M. *et al.* Proteína de peixe e fibras vegetais como ingredientes em panificação: uma revisão narrativa com ênfase em alimentos funcionais. REIS, T. S. M. *et al.* In: **Engenharia de pesca: aspectos teóricos e práticos**. Editora Científica Digital. p.266-281, 2021.

RIBEIRO, A. **Análise molecular de lectinas em sementes de leguminosas**. 2009. Tese (Doutorado em Farmácia - Bromatologia) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

SCHAAFSMA, G. The protein digestibility-corrected amino acid score. **The Journal of nutrition**, v.130, n.7, 2000.

SGARBIERI, V.C.; WHITAKER, J.R. Physical, chemical, and nutritional properties of common bean (*Phaseolus*) proteins. **Advances in Food Research**, v.28, p. 93166, 1982.

SGARBIERI, V. C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. São Paulo: Almed, 1987.

SILVA, C, D. *et al.* Realização de teste de aceitabilidade e intenção de compra de diferentes leites vegetais de marcas comerciais. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v.10, n.2, p.1522-1528, 2017.

SILVA, M. R.; SILVA, M. A. A. P. Fatores antinutricionais: inibidores de proteases e lectinas. **Revista de Nutrição**, v.13, n.1, 2000.

SOUZA, J. C. *et al.* Qualidade protéica de multimisturas distribuídas em Alfenas, Minas Gerais, Brasil. **Revista de Nutrição**, v.19, n.6, p.685-692, 2006.

STEIN, H. H.; SÈVE, B.; FULLER, M. F. Invited Review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients. Terminology and applications. **Journal of Animal Science**, v.85, p.172-180, 2007.

SWAISGOOD, H. E. Chemistry of the caseins. In P. L. H. McSweeney & P. F. Fox (Eds.), **Advanced dairy chemistry**. Boston: Springer US, v.1, n. 3, p. 139-201, 2003.

VOET, D.; VOET, J, G.; PRATT, C, W. **Fundamentos da Bioquímica**. 2 ed. São Paulo: Artmed, 2008.

WOLFE, R. R. *et al.* Protein quality as determined by the Digestible Indispensable Amino Acid Score: evaluation of factors underlying the calculation. **Nutrition Reviews**, v.74, n.9, p. 584–599, 2016.

ZANELA, M. B.; RIBEIRO, M. E. R. **LINA: Leite instável não ácido**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018.

ZYCHAR, B. C.; OLIVEIRA, B. A. Fatores desencadeantes da intolerância à lactose: metabolismo enzimático, diagnóstico e tratamento. **Atas de Ciências da Saúde**, v. 5, n. 1, p. 35-46, 2017.