

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

MARCELA DE SOUZA ZANGIROLAMI

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE PROTEÍNAS DE ORIGENS
VEGETAL E ANIMAL: UM ESTUDO ESPECTRAL E TEXTURAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CAMPO MOURÃO

2021

MARCELA DE SOUZA ZANGIROLAMI

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE PROTEÍNAS DE ORIGENS
VEGETAL E ANIMAL: UM ESTUDO ESPECTRAL E TEXTURAL**

**COMPARATIVE EVALUATION BETWEEN PROTEINS FROM VEGETABLE AND
ANIMAL SOURCES: A SPECTRAL AND TEXTURAL STUDY**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Paulo Henrique Março.

CAMPO MOURÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



MARCELA DE SOUZA
ZANGIROLAMI

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE PROTEÍNAS DE ORIGENS VEGETAL E ANIMAL: UM ESTUDO ESPECTRAL E TEXTURAL

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Tecnologia de Alimentos.

Data de aprovação: 26 de
Fevereiro de 2021

Prof. Dr. Paulo Henrique Março, UTFPR – Campo Mourão (Presidente da Banca)

Profa. Dra. Flávia Aparecida Reitz Cardoso, UTFPR – Campo Mourão (Membro interno, Titular)

Prof. Dr. Oscar de Oliveira Santos Junior, UEM (Membro externo, Titular)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela oportunidade de continuar estudando e por ter finalizado mais uma etapa da minha vida com saúde em meio a inúmeras dificuldades que vivenciamos devido à Pandemia.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Henrique Março por toda contribuição na minha formação acadêmica.

À Prof. Dra. Renata Hernandez Barros Fuchs pelas orientações e conselhos durante a realização do estágio.

A disposição da Thaysa Fernandes Moya Moreira e da Thays Raphaela Gonçalves em me ajudarem no laboratório quando precisei.

Às minhas colegas Andressa Rafaela da Silva Bruni e Cláudia Esteves da Silva pela amizade e companheirismo e pela enorme contribuição que a Cláudia teve no trabalho, desejo a vocês todo sucesso do mundo.

Agradeço também ao apoio da minha família, por estarem sempre acreditando e torcendo por mim.

À instituição de ensino UTFPR e todo corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos pelo qual tenho muito carinho.

Por fim, gostaria de agradecer à CAPES (código de financiamento 001) pelo apoio financeiro e a todos que por algum motivo contribuíram para realização dessa pesquisa. Com certeza, cada um de vocês colaborou na minha formação e na obtenção desse título.

RESUMO

As proteínas animais se diferem das proteínas vegetais basicamente pela composição em aminoácidos, de modo que as proteínas provenientes de animais, mais especificamente da carne, oferecem todos os aminoácidos não produzidos pelo organismo humano. Por outro lado, as atividades agropecuárias vinculadas à produção de alimentos estão entre as maiores responsáveis pelos impactos ambientais, principalmente pelo fato de que a produção de proteína de origem animal demanda, além de grandes espaços físicos para disposição dos animais, quantidades elevadas de recursos hídricos, contribuindo com gases relacionados ao efeito estufa, o qual vem sendo severamente discutido por acarretar acentuadas mudanças climáticas. Considerando-se o aspecto saudável e filosofias referentes a diferentes visões sobre a vida animal, o comércio alimentar tem sido influenciado por um aumento importante no consumo de proteínas derivadas de vegetais, resultando em uma nova dinâmica mercadológica, visto que a pouco tempo atrás o consumo proteico derivado de fonte animal era praticamente unanimidade. Apesar de determinados consumidores fazerem restrição ao consumo de proteínas de diferentes origens, tais como vegetarianos e veganos, os suplementos proteicos tanto de fontes de origem animal quanto vegetal são comercializados na maioria dos casos em forma de pó finamente dividido, de modo que a certificação da origem é realizada a partir de análises de caracterização que dependem de técnicas geralmente dispendiosas, que fazem uso de reagentes, preparo de amostra e utilizam tempo de análise consideráveis. Com isso, este estudo tem como objetivo comparar amostras comerciais de proteínas de origem animal e de origem vegetal utilizando-se informações de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e parâmetros reológicos, obtidos por análise de perfil de textura (TPA, do inglês *Texture Profile Analysis*), utilizando-se as ferramentas quimiométricas de análise de componentes principais (PCA, do inglês *Principal Component Analysis*) e análise de dimensões comuns (ComDim, do inglês *Common Dimensions*). Os resultados indicaram que, com relação as análises texturais, as proteínas de origem animal se assemelham em adesividade e elasticidade, enquanto as de origem vegetal se assemelharam em coesividade, mastigabilidade, gomosidade, dureza e resiliência. Ao se avaliarem as técnicas de NIR e texturômetro em conjunto a partir de ComDim, observou-se que os parâmetros mastigabilidade e gomosidade são essenciais para diferenciar entre amostras de proteínas de origem vegetal daquelas de origem animal, sendo que estes parâmetros se apresentam como relacionados às regiões do espectro NIR entre 900 – 1130 nm, 1190 – 1300 nm e 1450 – 1700 nm. Assim, caso haja interesse em se diferenciar as amostras de proteína comercial no que diz respeito a fonte, estas regiões NIR podem ser utilizadas, e estão relacionadas com a mastigabilidade e gomosidade das proteínas.

Palavras-chave: Análise comparativa. Textura. Fontes de proteína. Infravermelho próximo. ComDim. PCA. Quimiometria.

ABSTRACT

Animal proteins differ from plant proteins basically in their amino acid composition, so that proteins from animals, more specifically from meat, offer all amino acids not produced by the human body. On the other hand, agricultural activities linked to food production are among the biggest responsible for environmental impacts, since the production of animal protein demands, in addition to large physical spaces for the disposal of animals, high amounts of water resources, contributing to gases related to the greenhouse effect, which has been severely discussed as it causes important climatic changes. Considering the healthy aspect and philosophies referring to different views on animal life, the food trade has been influenced by an important increase in the consumption of proteins derived from vegetables, resulting in a new market dynamic, since a few time ago the consumption of protein derived from animal sources was practically unanimous. Although certain consumers restrict their protein consumption according to its origins, such as the vegetarians and vegans, protein supplements from both animal and vegetable sources are commercialized in most cases as a finely divided powder, so that the certification of origin is performed from characterization analysis which generally depends on expensive techniques, reagents, sample preparation and use considerable analysis time. Thus, this study aims to compare commercial samples of proteins from animal and plant sources using information from near-infrared spectroscopy (NIR) and textural parameters, obtained by a texture profile analysis (TPA), using the chemometric tools of principal component analysis (PCA) to find out the wavelengths assigned to the different protein sources, and the common dimensions analysis (ComDim). The results indicated that, regarding TPA analysis, proteins of animal origin are similar in adhesiveness and springiness, while those of plant origin were similar in cohesiveness, chewability, gumminess, hardness, and resilience. When evaluating the NIR and TPA techniques together using ComDim, it was observed that the chewability and gumminess parameters are essential to differentiate between samples of vegetable proteins from those of animal origin, and these parameters are presented as related to regions of the NIR spectrum between 900 - 1130 nm, 1190 - 1300 nm and 1450 - 1700 nm. Thus, if there is an interest in differentiating commercial protein samples with respect to the source, these NIR regions can be used, and are related to the chewability and gumminess of proteins.

Keywords: Comparative analysis. Texture. Protein sources. ComDim. PCA. Near-infrared. Chemometrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura geral de um aminoácido	13
Figura 2 - Texturômetro	20
Figura 3 - Curva força-deslocamento obtida a partir da Análise do Perfil de Textura (TPA).21	
Figura 4 - Absorção da radiação eletromagnética pelo infravermelho próximo	23
Figura 5 - Movimentos vibracionais e rotacionais em moléculas que absorvem radiação infravermelha e sofrem variação no seu momento dipolar.....	24
Figura 6 - Ilustração da realização das medidas espectrais NIR: amostra acomodada em embalagem plástica transparente	31
Figura 7 - Etapas da aplicação do método ComDim.....	34
Figura 8 - (A) Scores e (B) Loadings obtidos pela Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados NIR	35
Figura 9 - Análise de Componentes Principais aplicada aos dados obtidos pelo texturômetro	37
Figura 10 - Resultado da análise por ComDim: (A) Saliências; (B) Scores (C) Loadings.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definições dos parâmetros de textura obtidos pela Análise do Perfil de Textura (TPA).....	22
Tabela 2 - Informação contida nos rótulos das proteínas comerciais de origem animal.....	29
Tabela 3 - Informação contida nos rótulos das proteínas comerciais de origem vegetal	30

LISTA DE ABREVIATURAS

CD	<i>Common Dimension</i>
ComDim	<i>Common Dimension Analysis</i>
DIAAS	<i>Digestible Indispensable Amino Acid Score</i>
IMC	Índice médio de Massa Corporal
NIR	<i>Near-Infrared</i>
PC	<i>Principal Component</i>
PCA	<i>Principal Components Analysis</i>
TPA	<i>Texture Profile Analysis</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Fontes de Proteínas: Benefícios e Adversidades	13
2.2	Ingestão e Qualidade das Proteínas	17
2.3	Propriedades Reológicas	19
2.4	Métodos Instrumentais de Análise	22
2.5	Quimiometria	25
2.5.1	Análise de Componentes Principais (PCA)	25
2.5.2	Análise por dimensões comuns (ComDim)	26
3	OBJETIVOS	27
3.1	Objetivo Geral	27
3.2	Objetivos Específicos	27
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1	Amostras	28
4.2	Aquisição dos Espectros de Infravermelho Próximo (NIR)	30
4.3	Análise do Perfil de Textura (TPA)	31
4.4	Análises Quimiométricas	32
4.4.1	Software	32
4.4.2	Pré-processamento dos dados	32
4.4.3	Análise de Componentes Principais (PCA)	32
4.4.4	ComDim	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR)	35
5.2	Análise do Perfil de Textura (TPA)	37
5.3	Análise por dimensões comuns (ComDim)	39
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	APÊNDICE A – Resultados Para Análise Do Perfil De Textura	50

1 INTRODUÇÃO

Diets contendo altos teores de proteínas proporcionam um aumento na saciedade, diminuindo, conseqüentemente, a ingestão de energia total e, por isso, estão associadas a uma maior perda de peso (BROWN et al., 2019). Esta intensificação, junto à prática de exercício físico, também tem como objetivo provocar uma alteração no estado anabólico, ou seja, fazer com que a síntese de proteínas seja maior do que a quebra o que acarreta em um aumento na massa muscular esquelética. Os benefícios são observados também em idosos que sofrem com a perda progressiva e generalizada de massa e força muscular esquelética, doença designada sarcopenia (BRADLEE et al., 2018; KIM et al., 2015; LI et al., 2019; SAHNI et al., 2015; VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015).

O consumo proteico derivado de fonte animal é uma prática comum desde a antiguidade e predominante até os dias atuais principalmente por que esses alimentos são capazes de suprir a demanda de aminoácidos indispensáveis do corpo humano o que os intitula como sendo de alto valor biológico e por possuírem alta digestibilidade no intestino delgado (BAILEY et al., 2020; MATHAI; LIU; STEIN, 2017). No entanto, questões relacionadas com a saúde, bem-estar animal e, mais recentemente, meio ambiente, vem desencadeando uma mudança no hábito de uma parcela dos consumidores, que estão à procura de proteínas alternativas (ASCHEMANN-WITZEL; PESCHEL, 2019; DE GAVELLE et al., 2019; JANSSEN et al., 2016; MALEK; UMBERGER; GODDARD, 2019; VAINIO et al., 2016).

Destas, as proteínas derivadas das plantas aparecem como opção plausível para atender as restrições e necessidades desse público, que devem conciliar uma variedade adequada de vegetais capazes de fornecer quantidades suficientes de aminoácidos essenciais (HEVER, 2016; WALKER et al., 2019). Somando as possíveis semelhanças funcionais das proteínas com as novas perspectivas mercadológicas observadas e tendo em vista a grande variedade de suplementos proteicos comerciais que estão disponíveis no mercado, torna-se necessário estudos para investigá-las e caracterizá-las, permitindo uma melhor comparação e adaptação dos hábitos alimentares.

As técnicas de espectroscopia quando operadas em conjunto com a quimiometria são usadas frequentemente em diversas avaliações de matrizes alimentares complexas. Dentre as razões para isso, observa-se principalmente a melhora na possibilidade de interpretação dos resultados obtidos, além de viabilizar o uso de técnicas analíticas mais simples, rápidas e relativamente de menor custo (ASSIS et al., 2019; LIN et al., 2019; PEREIRA et al., 2020; SHI et al., 2019). A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR, do inglês *Near-Infrared*) ainda

se destaca em relação as outras técnicas e tem sido promissora na autenticação e detecção de adulterações em alimentos, oferecendo dispositivos portáteis, além de ser uma técnica com caráter não destrutivo, não invasivo e demanda pouco ou nenhum preparo da amostra (MA et al., 2017; PEREIRA et al., 2020).

A inserção da quimiometria na área de ciências e tecnologia de alimentos tem aumentado nos últimos anos e expandindo as possibilidades de aplicações, muito devido à viabilização de interpretação dos resultados (CALLAO; RUISÁNCHEZ, 2018). A análise de componentes principais (PCA, do inglês *Principal Component Analysis*), por exemplo, é uma ferramenta extraordinária para reconhecimento de padrões (BRO; SMILDE, 2014; WOLD; ESBENSEN; GELADI, 1987), e já vem sendo explorada em análises de alimentos com bastante êxito (LEME et al., 2019). Outras ferramentas, denominadas de análises multi-bloco (ou multi-tabelas), possibilitam a associação das informações obtidas por diferentes técnicas dedicadas à análise de um mesmo grupo de amostras (M. LOUDIYI, D.N. RUTLEDGE, 2018; ROSA et al., 2017). O ComDim (do inglês, *Common Dimension*) é uma dessas ferramentas multi-tabelas não supervisionada que pode relacionar e revelar a importância das tabelas de dados estudadas (CARIOU et al., 2018).

Estudos anteriores já avaliaram a qualidade nutricional de suplementos proteicos comerciais (CORGNEAU et al., 2019; SÁNCHEZ-OLIVER et al., 2018) e a proteína do soro do leite em pó já foi avaliada quanto sua digestibilidade e composição em aminoácidos essenciais, além de já terem sido investigadas adulterações nesses produtos (ALMEIDA et al., 2015; ZAUUU et al., 2020). Por outro lado, ainda que a aplicação de ferramentas quimiométricas tenha potencial para reconhecer diferentes tipos de amostra e associar diferentes técnicas, até onde se pode saber, não foram realizados estudos para diferenciar as proteínas com relação as suas fontes, tão pouco para relacionar técnicas que forneçam diferentes informações sobre os grupos de amostras no referido contexto.

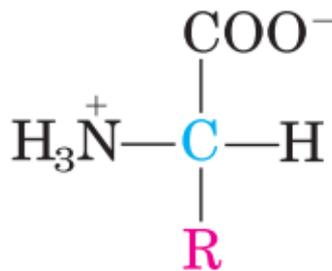
Com isso, o objetivo deste estudo foi propor a utilização da espectroscopia NIR associada a ferramentas de quimiometria, mais especificamente PCA e ComDim, para diferenciar proteínas comerciais, em pó, de origem animal daquelas de vegetal quanto aos parâmetros de textura, visto que essa é uma importante propriedade acerca da aplicabilidade de alimentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fontes de Proteínas: Benefícios e Adversidades

As proteínas são polímeros, ou seja, moléculas formadas por uma sequência de aminoácidos ligados entre si por ligações peptídicas. Os aminoácidos, por sua vez, são conhecidos por possuírem característica anfótera, isto é, se comportam tanto como base quanto como ácido. Sua estrutura, que está representada na Figura 1, é composta por um carbono que faz uma ligação com uma amina, com um ácido carboxílico e com hidrogênio, sendo que o que os diferencia é a quarta ligação, o chamado radical. Elas constituem uma porção vital da composição corporal e são necessárias para o crescimento e desenvolvimento, além de serem essenciais ao longo da vida para substituir aminoácidos irreversivelmente oxidados que não podem ser sintetizados no corpo, isto é, os aminoácidos essenciais (KIM et al., 2015; WOLFE et al., 2016).

Figura 1 - Estrutura geral de um aminoácido



Fonte: NELSON; COX, (2011).

O conteúdo de proteína para produtos de origem animal (carne bovina, suína, aves e peixes) varia de 10 a 25g/100g, enquanto para as proteínas de origem vegetal os valores são mais baixos e vão de 2,86 a 8,86g/100g, exceto para as nozes e alguns tipos de feijão que possuem valores comparáveis aos produtos cárneos, considerando-os crus e sem preparo. Os produtos vegetais em comparação com os cárneos têm quantidades menores de gorduras saturadas, além de não possuírem colesterol e fornecerem quantidades adequadas de minerais como fósforo, ferro e zinco. O ferro nos alimentos vegetais é encontrado somente na forma não-heme, considerado de baixa absorção (1 a 15%) enquanto a forma heme (15 a 40%) é exclusividade de alimentos de origem animal. A vitamina B12 está presente apenas em produtos

de origem animal (BOHRER, 2017). No entanto, como ela é produzida por bactérias, existe a possibilidade de que se extraia esta vitamina de outras fontes ou que se faça a incorporação desta (SATO; KUDO; MURAMATSU, 2004).

Dietas vegetarianas foram associadas a uma menor mortalidade comparada as não vegetarianas em um estudo realizado com 73.308 indivíduos norte-americanos durante os anos de 2002 a 2007. Entre as causas de morte observadas estão hipertensão, síndrome metabólica, diabetes mellitus, cardiopatia isquêmica, entre outras (ORLICH et al., 2013). Um acompanhamento ainda mais detalhado relacionado a ingestão de carnes decorreu no período de 16 anos com mais de 536 mil membros nos EUA com idades entre 50 e 71 anos com a mesma finalidade. O maior número de mortalidades foi ocasionado por câncer, doença cardíaca, doença respiratória e derrame. O aumento na ingestão de carnes vermelhas processadas e não processadas está igualmente associado ao aumento de mortalidade decorrente destas comorbidades, principalmente quando se trata de doenças hepáticas, que foram mais fortemente associadas à carne não processada. O ferro heme da carne processada e não processada e o nitrato/nitrito presentes nas carnes processadas e nos embutidos são pró-oxidantes e são os principais responsáveis por acarretar o aumento relatado, os ricos parecem ser reduzidos quando substituídas pelas carnes brancas, principalmente as não processadas (ETEMADI et al., 2017).

O Índice médio de Massa Corporal (IMC) pode ser afetado pela fonte e composição da ingestão de energia na dieta. Dietas não vegetarianas ultrapassam o limite de IMC que define o *status* de excesso de peso, indicando uma prevalência de obesidade de 33,3% para seus consumidores. Em contraste, o vegetarianismo estrito possui uma taxa de obesidade de 9,4%, indicando uma clara associação entre proporções mais altas de obesidade, índices elevados de IMC e uma ingestão maior de carne e laticínios (RIZZO et al., 2013). Geralmente, homens que consomem elevadas quantidades de carne tendem a ter um IMC elevado, se exercitar menos e tomar multivitamínicos com menos frequência, além de serem mais propensos ao uso de cigarros, comparados aqueles que consomem menores quantidades de carne (MICHAUD et al., 2001).

Essa associação pode ser atribuída com o teor de gordura presente nos alimentos e não a proteína propriamente dita se considerarmos que 1g de gordura possui 9 kcal e que 1g de proteína possui 4 kcal. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO) a gordura da carne pode variar de aproximadamente 5 a 25% que é um valor bem maior que o encontrado em leguminosas como feijão e lentilha, cereais como arroz e verduras

e hortaliças como abóbora, brócolis e couve por exemplo, que possuem menos de 1% (NEPA; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2011).

Estudos recentes sugerem que a ingestão de frutas está inversamente relacionada às doenças crônicas, principalmente as cardiovasculares, devido muito provavelmente a ação das fibras presentes nestes alimentos, que ainda são capazes de promover a saciedade e reduzir o ganho de peso corporal (ANGELINO et al., 2019; PARTULA et al., 2020; WANG et al., 2020). É notório que a redução do consumo da carne vermelha está diretamente relacionada com a diminuição de impactos à saúde, assim como também é capaz de reduzir impactos ambientais (WALKER et al., 2019). Considerando as informações dispostas anteriormente, constata-se que indivíduos que sofrem com sobrepeso podem, pela transição de uma dieta contendo alimentos de origem animal para dietas veganas/vegetarianas, combatê-lo mais efetivamente, o que os beneficia por reduzir o uso de medicamentos que seriam necessários para combater doenças crônicas, como obesidade, câncer, diabetes ou doenças cardiovasculares (NAVAS-CARRETERO et al., 2019; ROSELL et al., 2006; TUSO et al., 2013).

A perda progressiva e generalizada de massa e força muscular esquelética, conhecida como sarcopenia, leva a incapacidade física e, conseqüentemente, má qualidade de vida, podendo levar à morte (CRUZ-JENTOFT et al., 2010). Uma maior ingestão de proteínas, acima da recomendação de $0,8 \text{ g.Kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, está associada a maior massa muscular esquelética em adultos de meia-idade e idosos (LI et al., 2019). É possível aumentar a massa muscular esquelética aumentando o consumo de proteínas de origem animal. Todavia, o consumo de proteínas a base de plantas por si só não é suficiente para que se perceba os benefícios, sendo necessário que o indivíduo seja fisicamente ativo (BRADLEE et al., 2018).

Uma maior ingestão de ferro heme, encontrado nas carnes, aumenta o risco de doenças cardiovasculares, mas não há uma associação entre a ingestão de ferro não-heme ou ferro total com estas enfermidades (FANG et al., 2015). Uma amplificação de diversos tipos de câncer também pode estar relacionada ao consumo de embutidos cárneos, uma vez que são adicionadas substâncias como nitritos e nitratos durante o processo de preservação, principalmente pela ação antibacteriana e produção da cor vermelho-rosa, característica de carnes curadas. Estes compostos, ao reagirem com a carne, podem formar nitrosaminas e nitrosamidas, que são substâncias carcinogênicas (SINHA et al., 2005; TANG; JIANG; BRYAN, 2011).

Os antioxidantes atuam na eliminação de contribuintes de doenças crônicas como os radicais livres e espécies reativas de oxigênio e nitrogênio. O leite e produtos lácteos possuem esta propriedade devido ao enxofre contendo aminoácidos cisteína, vitaminas A, E,

carotenóides, sistemas enzimáticos, superóxido dismutase, catalase e glutathione peroxidase (KHAN et al., 2019) e os peixes como o azevinho, a anchova, a cavala, a sardinha, o salmão, o atum, a truta e o óleo de anchova são fontes naturais de ômega-3 e desempenham um papel protetor contra doenças cardiovasculares (JEĐRUSEK-GOLIŃSKA et al., 2020). Já nos vegetais, frutas, nozes, chocolate e frutas vermelhas é possível encontrar teores cerca de 33 vezes maiores de antioxidantes comparados aos produtos cárneos, visto que esses produtos na maioria das vezes são consumidos sem que seja necessária preparação prévia (CARLSEN et al., 2010).

Além da capacidade antioxidante de uma dieta baseada em plantas melhorarem o desempenho atlético e a recuperação acelerada, um estudo realizado por Barnard et al. (2019) atribui estes benefícios a outros aspectos, como a diminuição do peso corporal e do risco arteriosclerótico, atribuídos à redução no teor de gordura e aumento no teor de fibra dos alimentos. A diminuição da gordura saturada e ausência de colesterol também provocam uma redução nas concentrações de lipídios no plasma e conseqüente redução da viscosidade do sangue. A dieta também permite um aumento no consumo de carboidratos saudáveis como grãos, legumes e vegetais. Este macronutriente (carboidrato) é a principal fonte de energia, sendo um dos principais responsáveis pelo aumento da resistência em atletas (BARNARD et al., 2019).

Destaca-se o fato de que os vegetais não produzem a vitamina B12, e a deficiência desta vitamina pode afetar os sistemas gastrointestinal, neurológico e hematológico, sendo que existem relatos mais comumente encontrados em países com baixa ingestão da proteína animal (SERIN; ARSLAN, 2019). Contudo, apesar das plantas terrestres não produzirem e não necessitarem da vitamina B12 para sobrevivência, quando cultivadas em meio rico nesta substância, são capazes de absorvê-la, tornando possível a obtenção de vitamina B12 a partir do consumo de alimentos de origem vegetal (SATO; KUDO; MURAMATSU, 2004). Sato, Kudo e Muramatsu (2004) fizeram esta demonstração usando broto de rabanete japonês, embebedando suas sementes em soluções de vitamina B12. O resultado foi a produção de um vegetal rico em vitamina B12, o que é de interesse principalmente para pessoas vegetarianas e para idosos. Mais recentemente Lawrence et al. (2018) cultivaram o agrião de jardim (*L. sativum*) em meios crescentes de vitamina B12 e demonstraram que a quantidade absorvida pela planta está diretamente relacionada com a quantidade presente no meio (LAWRENCE et al., 2018; SATO; KUDO; MURAMATSU, 2004).

2.2 Ingestão e Qualidade das Proteínas

As estimativas para o consumo diário de macro e micronutrientes são importantes para se obter uma dieta balanceada. A quantidade de proteínas necessárias para estimular o crescimento de crianças e a manutenção de adultos e idosos seguem recomendações baseadas na necessidade média estimada (EAR, do inglês *Estimated Average Requirement*), que atende exigências da metade da população saudável em um determinado estágio da vida e grupo sexual, no nível médio diário mínimo de ingestão alimentar (RDA, do inglês *Recommended Dietary Allowance*).

Essa recomendação mínima diária foi calculada para atender aos requisitos da maioria dos indivíduos saudáveis (aproximadamente 98%) em um determinado estágio da vida e serve para estimar a quantidade mínima de proteína que deve ser ingerida para evitar a perda de nitrogênio corporal sem que ultrapasse a ingestão superior tolerável (UL, do inglês *Tolerable Upper Intake Level*). Estes valores são referidos de forma coletiva como ingestão de referência dietética (DRI, do inglês *Dietary Reference Intakes*) e são expressos em gramas por dia, no caso das proteínas, em função do peso corporal (TRUMBO, P; SCHLLICKER, S; YATES, AA; POOS, 2002). Os valores de ingestão fixados para EAR e RDA são de 0,66 e 0,8 g.Kg⁻¹.dia⁻¹ (FAO, 2007). As recomendações não são as mesmas para atletas, visto que a quantidade e qualidade da proteína são questões importantes para este grupo, e a sugestão é que a ingestão seja de até 2,0 g.Kg⁻¹.dia⁻¹ para atletas de força (THOMAS; ERDMAN; BURKE, 2016).

A proposta vinda de profissionais de saúde, mídia e livros populares em se manter uma dieta rica em proteínas vem se intensificando, apesar da falta de dados científicos em relação à segurança atrelada ao aumento. O principal objetivo da intensificação é provocar uma alteração no estado anabólico, fazendo com que a síntese de proteínas seja maior do que a quebra. Quantidades moderadas e altas de ingestão de proteínas, entre 40 e 70g por refeição, resultam em uma resposta anabólica positiva, e é significativamente maior do que os valores descritos anteriormente (KIM et al., 2015).

Segundo Van Vliet, Burd e Van Loon (2015), a ingestão de alimentos, em particular as proteínas combinadas, com a prática de exercício físico são os principais estímulos anabólicos que aumentam a massa muscular esquelética. As taxas inferiores obtidas para o atributo avaliando-se proteínas de origem vegetal *versus* animal são devidas às diferenças observadas na digestão, cinética de absorção e composição de aminoácidos. Ainda, de acordo

com os autores, as diferenças podem ser liquidadas se a ingestão diária de proteína for elevada para $1,15 \text{ g.Kg}^{-1}$ (VAN VLIET; BURD; VAN LOON, 2015).

Todavia, alguns aspectos devem receber uma maior atenção, como a taxa na qual o trato gastrointestinal é capaz de absorver aminoácidos das proteínas da dieta, que varia de $1,3$ a 10 g.h^{-1} e a capacidade do fígado em desaminar proteínas e produzir ureia para excreção do excesso de nitrogênio. A defesa de dietas ricas em proteínas, na ordem de 200 a 400 g.dia^{-1} , o equivalente a $5 \text{ g.Kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, pode exceder a capacidade da conversão no fígado. Os perigos são observados quando a proteína constitui mais do que 35% da ingestão total de energia, incluindo hiperaminoacidemia, hiperamonemia, náusea por hiperinsulinemia, diarreia e até a morte. Portanto, a medida de ingestão absoluta (g.dia^{-1}) em conjunto com a ingestão relacionada ao peso corporal ($\text{g.Kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) e a ingestão como uma fração da energia total (%) são ideais para definir a ingestão de proteínas e sugerem no máximo uma ingestão de 25% das necessidades de energia, aproximadamente 2 a $2,5 \text{ g.Kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, o que corresponde a 176 g de proteína por dia para um indivíduo de 80 Kg em uma dieta de $12000 \text{ kJ.dia}^{-1}$ (BILSBOROUGH; MANN, 2006).

A digestibilidade ao longo do trato digestivo e a composição em aminoácidos são os critérios básicos para avaliar a qualidade de uma fonte de proteína e a avaliação da sua biodisponibilidade determina a capacidade de ela satisfazer as demandas metabólicas de aminoácidos e nitrogênio (HAN; CHEE; CHO, 2015). Merecem destaque os chamados aminoácidos indispensáveis da dieta, que são aqueles que o corpo não é capaz de produzir, pelo menos em quantidades suficientes aos requisitos nutricionais e, conseqüentemente, é obtido por meio da dieta. Os 9 aminoácidos indispensáveis são histidina, isoleucina, leucina, valina, lisina, treonina, fenilalanina, metionina e triptofano (WOLFE et al., 2016).

A abordagem feita pela FAO (*Food And Agriculture Organization of The United Nations*) para quantificar a qualidade das proteínas, denominada Pontuação de aminoácidos indispensável digerível (DIAAS, do inglês *Digestible Indispensable Amino Acid Score*) é a razão entre a quantidade de aminoácidos indispensáveis digerível na proteína em estudo pela quantidade do mesmo aminoácido na proteína referência, recomendada pela FAO. Valores de DIAAS iguais ou superiores a 100% indicam excelentes fontes de proteína, ou seja, um provedor ideal de aminoácidos. Já os que tiverem uma pontuação variando entre 75 e 99% são as fontes “satisfatórias” de proteína pois não fornecem um suprimento ideal de aminoácidos, enquanto valores inferiores a 75% são proteínas considerada abaixo do ideal (FAO, 2013). A adoção dessa metodologia permite uma identificação mais precisa e um uso mais eficaz de

alimentos proteicos considerados de alta e baixa qualidade em dietas sustentáveis, porém o método depende da produção de dados de pesquisas suficientes que o apoiem.

2.3 Propriedades Reológicas

A textura é um atributo importante na indústria de alimentos pois reflete diretamente nas preferências e na aceitabilidade do consumidor além de indicar a qualidade do alimento, que na maioria das vezes tem suas características alteradas durante sua vida de prateleira. Também tem a sua contribuição na aplicabilidade dos alimentos, em especial, devido à alta procura por formulações saudáveis. Diversos estudos têm tentado substituir constituintes alimentares visando aumentar o valor nutricional sem interferir nas propriedades de textura (EL-SOHAIFY et al., 2020) e, nestes casos, é importante encontrar compostos alimentares com características semelhantes àquele que se deseja substituir.

A textura pode ser avaliada de forma subjetiva através da análise sensorial ou de forma objetiva por meio de medidas instrumentais. A análise sensorial se baseia em percepções humanas ou no processamento oral do alimento às propriedades dos alimentos, no entanto, possui algumas limitações comparada a técnica instrumental como por exemplo a variabilidade das propriedades reológicas dos tecidos humanos envolvidos, atributos como sabor e aroma e recipiente dos alimentos além de ser mais cara e demorada (CHEN; OPARA, 2013).

A análise do perfil de textura (TPA, do inglês *Texture Profile Analysis*) é uma análise instrumental baseada em uma dupla compressão de alimentos sólidos e semi-sólidos, realizada a partir de uma haste presente nos equipamentos denominados de texturômetro, tais como o apresentado na Figura 2, que é responsável por transportar energia mecânica ao material a uma velocidade constante, em um curto intervalo de tempo, analogamente ao processo de mastigação (MEI et al., 2018).

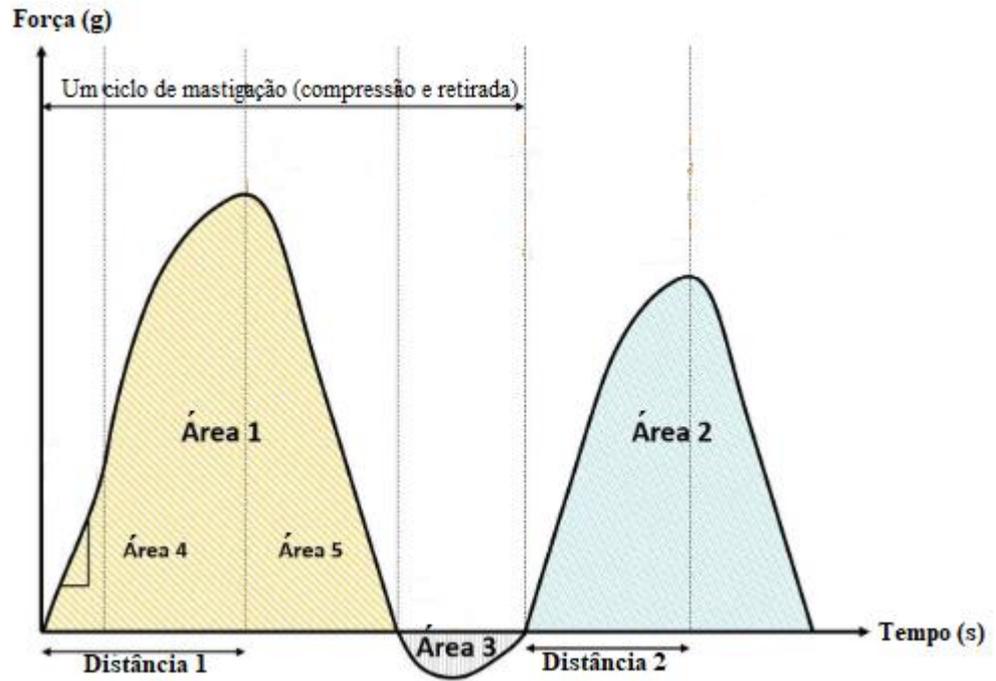
Figura 2 - Texturômetro



Fonte: Stable Micro Systems, [s.d.] .

O comportamento do alimento submetido a essas compressões traduz-se em curvas de força-deslocamento, representadas na Figura 3, de onde são definidos os parâmetros de textura dureza, adesividade, coesividade, elasticidade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. Na Tabela 1 está descrita a definição e o significado físico que representam cada um desses parâmetros.

Figura 3 - Curva força-deslocamento obtida a partir da Análise do Perfil de Textura (TPA).



Fonte: Adaptado de MEI et al., (2018).

Tabela 1 - Definições dos parâmetros de textura obtidos pela Análise do Perfil de Textura (TPA).

Parâmetro	Definição	Significado
Dureza	Força máxima na 1 ^o compressão	Resistência dos alimentos às forças de compressão.
Adesividade	Área negativa na 1 ^o compressão	O quão bem o alimento adere à sonda ao ser retirado após a primeira compressão.
Coesividade	Área 2/Área 1	O quão bem o alimento resiste a uma segunda deformação em relação à sua resistência sob a primeira deformação.
Elasticidade	Distância de altura durante a segunda compressão pela primeira distância de compressão	O quão bem um alimento volta fisicamente após ser deformado durante a primeira compressão.
Gomosidade	Dureza x Coesividade	Quanta força e trabalho são necessários para comprimir o alimento.
Mastigabilidade	Gomosidade x Elasticidade	Quanta força, trabalho e distância são necessários para comprimir o alimento.
Resiliência	Área 5/Área 4	Capacidade de um produto de recuperar sua altura original.

Fonte: Adaptado de MEI et al., (2018).

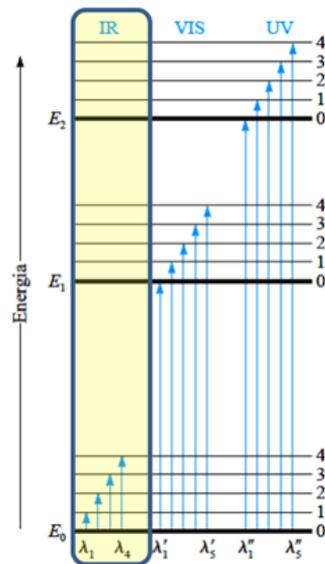
2.4 Métodos Instrumentais de Análise

As técnicas tradicionais utilizadas para separação de misturas complexas de moléculas encontradas em sistemas químicos e biológicos tais como a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC, do inglês *High-Performance Liquid Chromatography*) e a cromatografia gasosa (para a detecção de compostos orgânicos voláteis) são excelentes e indiscutíveis no que diz respeito ao potencial de uso. No entanto, a necessidade de grandes quantidades de solventes orgânicos como fase móvel, gases para arraste e a necessidade de padrões tornam a técnica dispendiosa e muitas vezes demorada, o que influencia na quantidade de amostras que pode ser avaliada por dia (SIDDIQUI; ALOTHMAN; RAHMAN, 2017).

Para permitir a análise de um número cada vez maior de amostras, uma das possibilidades é a realização de uma triagem a partir de alguma técnica que possa trazer respostas mais rápidas que as produzidas por cromatografia. Neste quesito, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) pode ser muito útil e já vem sendo empregada com sucesso, por exemplo, na triagem de amostras de cápsulas de óleo para indicar qual amostra deve passar por análise cromatográfica (LEME et al., 2019), além de diversos empregos na análise de grãos, detecção de compostos farmacêuticos, medição de qualidade de frutas e vegetais, detecção de adulterações em amido, entre outras possibilidades (GUO et al., 2020; LIN et al., 2019; NICOLAÏ et al., 2007; QUINTELAS et al., 2019; ROCHA et al., 2018; SIDDIQUI; ALOTHMAN; RAHMAN, 2017). Dentre as vantagens da espectroscopia NIR, destacam-se a rapidez na obtenção dos dados, caráter não destrutivo e não invasivo e pouco ou nenhum preparo de amostra resultando, conseqüentemente, em economia de tempo e reagentes.

A espectroscopia se fundamenta na absorção da radiação eletromagnética compreendida na região do espectro imediatamente superior à região visível, ou seja, a mais próxima ao visível, como pode ser visto através da Figura 4, que vai de 700 a 2500 nm (SKOOG et al., 2006).

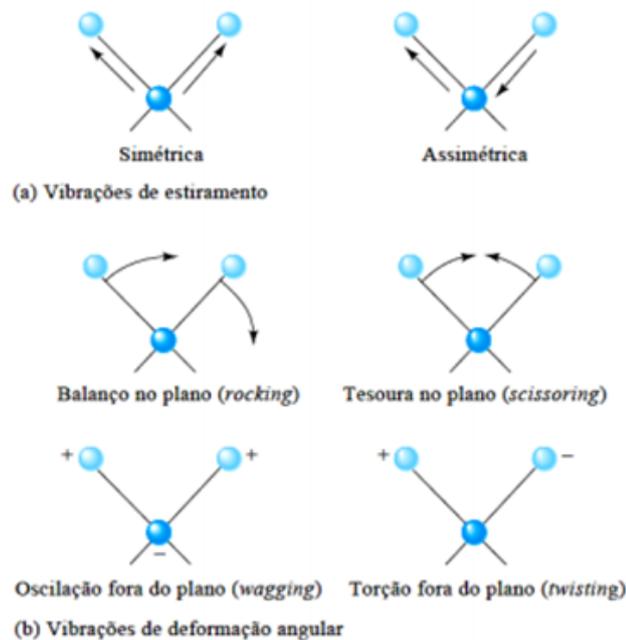
Figura 4 - Absorção da radiação eletromagnética pelo infravermelho próximo



Fonte: SKOOG et al. (2006).

A absorção da radiação infravermelha pode provocar movimentos rotacionais e vibracionais em moléculas que sofrem variação no momento dipolar. As vibrações que ocorrem são de estiramento, podendo ser simétrica ou assimétrica e vibrações de deformação angular, que podem vibrar como um balanço no plano, como tesoura no plano, oscilação fora do plano e torção fora do plano como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Movimentos vibracionais e rotacionais em moléculas que absorvem radiação infravermelha e sofrem variação no seu momento dipolar



Fonte: SKOOG et al. (2006).

As respostas são observadas na forma de gráficos relacionando a região de medida (700-2500 nm) em função da intensidade, que pode ser de transmitância ou absorbância referentes à energia envolvida entre ligações O-H, C-H, N-H, informações sobre a forma das ligações (se simples, dupla ou tripla) e outros grupos contendo hidrogênio. No entanto, o alto grau de sobreposição faz necessário o uso de estratégias, tais como métodos quimiométricos, para extrair informações e permitir a interpretação dos resultados (OSBORNE, 1981; SHI et al., 2019).

2.5 Quimiometria

A quimiometria é o campo da química que faz uso e aplicação de métodos matemáticos e estatísticos visando extrair uma maior quantidade de informações e possibilitando a obtenção de melhores resultados analíticos (FERREIRA, 2015). Apesar de os primeiros trabalhos utilizando estas ferramentas terem aparecido a partir da década iniciada em 1960 (PELL et al., 2014), a inserção da quimiometria na área de ciências e tecnologia de alimentos é um tanto nova e tem aumentado nos últimos anos, muito devido à viabilização de interpretação dos resultados (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2006; GRANATO et al., 2018). Dentre as metodologias, destaca-se a análise de componentes principais (PCA) como a mais reconhecida das ferramentas quimiométricas para reconhecimento de padrões (BRERETON, 2015; FERREIRA, 2015).

2.5.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais é um método quimiométrico exploratório não supervisionado, ou seja, não é fornecido nenhum tipo de informação à priori sobre as amostras. O objetivo é encontrar a melhor maneira de agrupar um conjunto de dados complexos em um conjunto relativamente menor, denominados componentes principais (PC, do inglês *Principal Component*). Inicialmente, os dados são organizados na forma de uma matriz \mathbf{X} , na qual as linhas se referem às diferentes amostras e as colunas relacionadas às variáveis. A matriz \mathbf{X} é decomposta em duas matrizes menores de *scores* e *loadings*, onde os *scores* fornecerão informações sobre a projeção das amostras nos novos eixos, permitindo assim avaliar similaridades e diferenças entre as amostras, enquanto os *loadings* indicarão quais variáveis tem influência sobre a projeção observada (BECKER-ALGERI et al., 2020; FERREIRA, 2015).

A PCA foi aplicada com sucesso na diferenciação de amostras de leite adulterados, quando estes foram avaliados por cromatografia líquida acoplada a espectrômetro de massas (LC-MS/MS) (YANG et al., 2019), na detecção de adulteração em mel a partir de análises voltamétricas e espectrofotométricas, possibilitando a utilização de equipamentos portáteis que tornam as análises mais acessíveis ao apicultor (GUELLIS et al., 2020), na triagem de amostras de cápsulas de óleo para detecção de adulteração no conteúdo interno sem necessidade de destruir as amostras (LEME et al., 2019), dentre muitas outras aplicações.

2.5.2 Análise por dimensões comuns (ComDim)

A análise por dimensões comuns (ComDim), derivada da Análise de Componentes Comuns e Pesos Específicos (CCSWA do inglês, *Common Components and Specific Weights*) é um método de análise multi-tabelas não supervisionado direcionado inicialmente para solucionar problemas ligados a análise sensorial (QANNARI; WAKELING; MACFIE, 1995). Atualmente, ganhou destaque na quimiometria e tem sido usado para combinar diferentes técnicas de análise aplicadas a um mesmo grupo de amostras a fim de discriminá-las (M. LOUDIYI, D.N. RUTLEDGE, 2018; VIEIRA et al., 2020).

Assim como no PCA, a ferramenta ComDim faz o uso da matriz “variância-covariância”. No entanto, utiliza matrizes das amostras que possuem o mesmo tamanho, ou seja, o mesmo número de linhas. Dessa forma, é possível calcular a soma ponderada e posteriormente extrair seu primeiro componente principal normalizado como a primeira Dimensão Comum (CD do inglês, *Common Dimension*). A importância ou “saliência” de cada tabela é calculado pelo algoritmo para a CD utilizada, assim como a variabilidade extraída por ela. Para se obter informações a respeito das demais CD basta repetir o procedimento (ROSA et al., 2017).

Como resultado, obtém-se o gráfico das saliências, que permite avaliar em qual das tabelas analisadas (em outras palavras, qual das técnicas) está a informação predominante para o padrão de agrupamento em cada uma das CDs, e os gráficos de *scores* e *loadings* individuais (ou seja, os *scores* e *loadings* de cada técnica) que possibilitarão relacionar as amostras, na determinada dimensão comum, com as variáveis provenientes das diferentes técnicas analíticas. Por exemplo, quais amostras (*scores*) apresentam maior mastigabilidade e gomosidade (informação da tabela de dados proveniente do texturômetro), e ainda a relação destes parâmetros com a região do espectro de infravermelho próximo que mais influencia na separação destas amostras. Ainda como exemplo, é possível encontrar a relação entre regiões do espectro infravermelho e parâmetros físico-químicos do mel (LEME et al., 2018), sendo que a aplicabilidade do estudo é a utilização das regiões espectrais relacionadas entre as tabelas (neste caso, espectroscopia com parâmetros físico-químicos) para a criação de modelos de predição daquelas propriedades, permitindo futuras análises por espectroscopia em lugar das análises físico-químicas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Comparar amostras de proteínas comerciais de origem vegetal com amostras de proteínas de origem animal com a finalidade de se encontrar as semelhanças e diferenças existentes entre elas.

3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

Avaliar as regiões dos espectros NIR responsáveis por diferenciar os grupos de amostras;

Analisar os parâmetros de textura das amostras;

Aplicar a PCA para observar as diferenças/semelhanças entre as amostras e quais são os parâmetros determinantes na diferenciação dos grupos estudados;

Avaliar a relação entre as técnicas NIR e TPA a fim de se relacionar regiões do espectro NIR com parâmetros de TPA.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostras

Foram adquiridas 48 amostras de suplementos comerciais proteicos, sendo 26 de origem animal e 22 de origem vegetal. Todas as amostras obtidas foram de diferentes marcas, sabores e lotes e estavam dentro do prazo de validade. As Tabelas 2 e 3 trazem as informações para identificação das amostras, tais como numeração atribuída e as informações contidas nos rótulos, como flavorizante e o tipo de processamento. A escolha das amostras de origem animal, todas do tipo “*Whey Protein*” foi devido a percepção do consumo majoritário desse tipo de proteína entre frequentadores de academias. Portanto, elas foram adquiridas por doação, através de frequentadores de uma academia local na cidade de Campo Mourão, Paraná, região sul do Brasil. Já as amostras de origem vegetal foram adquiridas através de seus fornecedores no ano de 2019 utilizando recursos de apoio à pesquisa disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. Nesse caso, percebe-se uma grande variedade de vegetais disponíveis no mercado e por isso a escolha da gama de proteínas utilizada nesse trabalho foi na tentativa de incluir a maior parte deles. Em sua maioria, as proteínas vegetais foram disponibilizadas na forma de “blends”, ou seja, mistura de diversas fontes vegetais, sendo as de fonte única aquelas de arroz, ervilha, soja e semente de abóbora.

Tabela 2 - Informação contida nos rótulos das proteínas comerciais de origem animal

N	Flavorizante	Tipo
1	Frutas tropicais: Abacaxi, banana e laranja	Isolado
2	Sem sabor	Isolado
3	Cappuccino	Blend Concentrado
4	Chocolate maltado com <i>crisps</i> de chocolate	Blend Concentrado
5	Frutas vermelhas	Isolado
6	Mamão, banana e maçã	Blend Concentrado
7	Chocolate	Blend Concentrado
8	Chocolate	Concentrado
9	Doce de leite	Concentrado
10	Brigadeiro	Isolado
11	Chocolate	Isolado e hidrolisado
12	Cappuccino	Concentrado
13	Sorvete de baunilha	Isolado
14	Chocolate	Isolado
15	Café	Isolado
16	Caramelo	Isolado
17	Chocolate	Concentrado
18	<i>Moccha</i>	Concentrado
19	Banana	Concentrado
20	Cappuccino	Isolado e concentrado
21	Chocolate maltado	Blend Concentrado
22	Chocolate belga	Blend Concentrado
23	Baunilha	Concentrado
24	Chocolate	Concentrado
25	Chocolate	Isolado e hidrolisado
26	Baunilha	Concentrado

N = número codificado da amostra indicado nos gráficos.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Informação contida nos rótulos das proteínas comerciais de origem vegetal

N	Flavorizante	Tipo
27	Muffin de morango e banana	Blend (Isolado de ervilha, concentrado de arroz, proteína de abóbora e chia)
28	Cacau	Isolado de arroz integral e proteína de ervilha
29	Chocolate com avelã	Arroz e ervilha
30	Chocolate	Proteína orgânica de arroz integral
31	Baunilha	Arroz e ervilha
32	Cacau	Proteína concentrada de ervilha amarela
33	Chocolate	Isolado de soja
34	Sem sabor	Proteína de ervilha
35	Morango	Proteína isolada de soja, proteína de ervilha, proteína de arroz integral
36	Sem sabor	Semente de abóbora tostada
37	Baunilha	Proteína isolada de ervilha e proteína concentrada de arroz
38	Sem sabor	Proteína concentrada de arroz integral
39	Chocolate	Proteína isolada de ervilha, proteína orgânica de amêndoa
40	Sem sabor	Proteína isolada de ervilha, proteína orgânica de amêndoa
41	Baunilha	Proteína isolada de ervilha, proteína orgânica de amêndoa
42	Banana com canela	Proteína isolada de ervilha, proteína orgânica de amêndoa
43	Sem sabor	Proteína de ervilha
44	Sem sabor	Proteína isolada de soja, proteína de trigo e proteína de ervilha
45	Chocolate e banana	<i>Hemp protein</i>
46	Cacau	Amêndoa orgânica e ervilha
47	Banana com canela	Amêndoa orgânica e ervilha
48	Chocolate	<i>Hemp protein</i>

N = número codificado da amostra indicado nos gráficos.

Fonte: Autoria própria.

4.2 Aquisição dos Espectros de Infravermelho Próximo (NIR)

Os espectros foram obtidos utilizando-se um equipamento JDSU MicroNIR® para medidas na região de 900 a 1700 nm. A medida do branco foi realizada a partir de um padrão de reflectância (Spectralon™, coeficiente de reflexão difusa de 99%), o qual foi embalado dentro de uma embalagem plástica equivalente as utilizadas para as amostras, enquanto a

referência escura (simulação da não-reflexão) foi obtida com a lâmpada apagada. As medidas foram realizadas com o equipamento indicando temperatura de $45 (\pm 2) ^\circ\text{C}$ e as amostras foram acomodadas em embalagens plásticas transparentes. As leituras foram adquiridas em triplicata, gerando um total de 144 espectros, e foram realizadas sem remoção das amostras de dentro das embalagens, como ilustrado na Figura 6, a fim de evitar ao máximo o contato e a contaminação delas.

Figura 6 - Ilustração da realização das medidas espectrais NIR: amostra acomodada em embalagem plástica transparente



Fonte: Autoria própria.

4.3 Análise do Perfil de Textura (TPA)

Pesou-se uma quantidade de 7,5g de amostra de proteína, adicionadas a 2,5g de farinha de trigo e 10 mL de água destilada. As amostras foram submetidas a uma dupla compressão por um texturômetro modelo TA-XT Express (Stable Micro Systems) através de uma sonda cilíndrica P/0.5 e uma célula de carga de 10 Kg e os resultados obtidos foram processados em software Exponent Lite Express. Todas os testes foram realizados em temperatura ambiente e as amostras comprimidas duas vezes a 50% da sua altura original. Não houve tempo de descanso entre os dois ciclos de compressão. Dez repetições foram medidas por grupo de tratamento. Os parâmetros avaliados foram dureza (medida em Newtons), gomosidade,

mastigabilidade, resiliência, coesão, elasticidade (mm) e adesividade (medida em Newtons vezes segundo) (MEI et al., 2018).

4.4 Análises Quimiométricas

4.4.1 *Software*

Os dados obtidos foram avaliados utilizando-se o software MATLAB R2017a com a utilização do pacote PLS-Toolbox para a realização de pré-processamentos e análise por PCA. A análise ComDim foi realizada utilizando-se programa *home-made*.

4.4.2 Pré-processamento dos dados

Os espectros NIR obtidos foram organizados na forma de matriz, sendo cada linha da matriz \mathbf{X} correspondente a um espectro e cada coluna corresponde à absorbância nos diferentes comprimentos de onda. Foram aplicadas correção de espalhamento multiplicativo (MSC, do inglês *Multiplicative Scatter Correction*) com a finalidade de corrigir efeitos de dispersão multiplicativos e aditivos, originados de diferenças existentes entre as amostras relacionadas ao tamanho dos grânulos, morfologia e orientação das partículas, além de se aplicar primeira derivada pelo método de Savitzky-Golay com uma janela de 7 pontos e polinômio de primeira ordem para suavização das curvas (SAVITZKY; GOLAY, 1964).

4.4.3 Análise de Componentes Principais (PCA)

Utilizou-se para as medidas os espectros médios das triplicatas. Após o pré-processamento para correção de espalhamento multiplicativo, os espectros NIR foram centrados na média e submetidos a Análise de Componentes Principais (PCA) com o objetivo de separar as amostras provenientes das diferentes fontes, acreditando-se haver um diferente padrão de perfil espectral relacionado as origens. A PCA é geralmente utilizada para encontrar a melhor maneira de agrupar um conjunto de variáveis complexas em um grupo relativamente menor, denominados Componentes Principais (PC). Na PCA, uma matriz \mathbf{X} é decomposta em duas matrizes menores de *scores* e *loadings*, onde os *scores* fornecerão informações sobre a projeção das amostras nos novos eixos, permitindo assim avaliar similaridades e diferenças entre as amostras, enquanto os *loadings* indicarão quais variáveis tem influência sobre a projeção observada (BECKER-ALGERI et al., 2020; FERREIRA, 2015). A ferramenta PCA

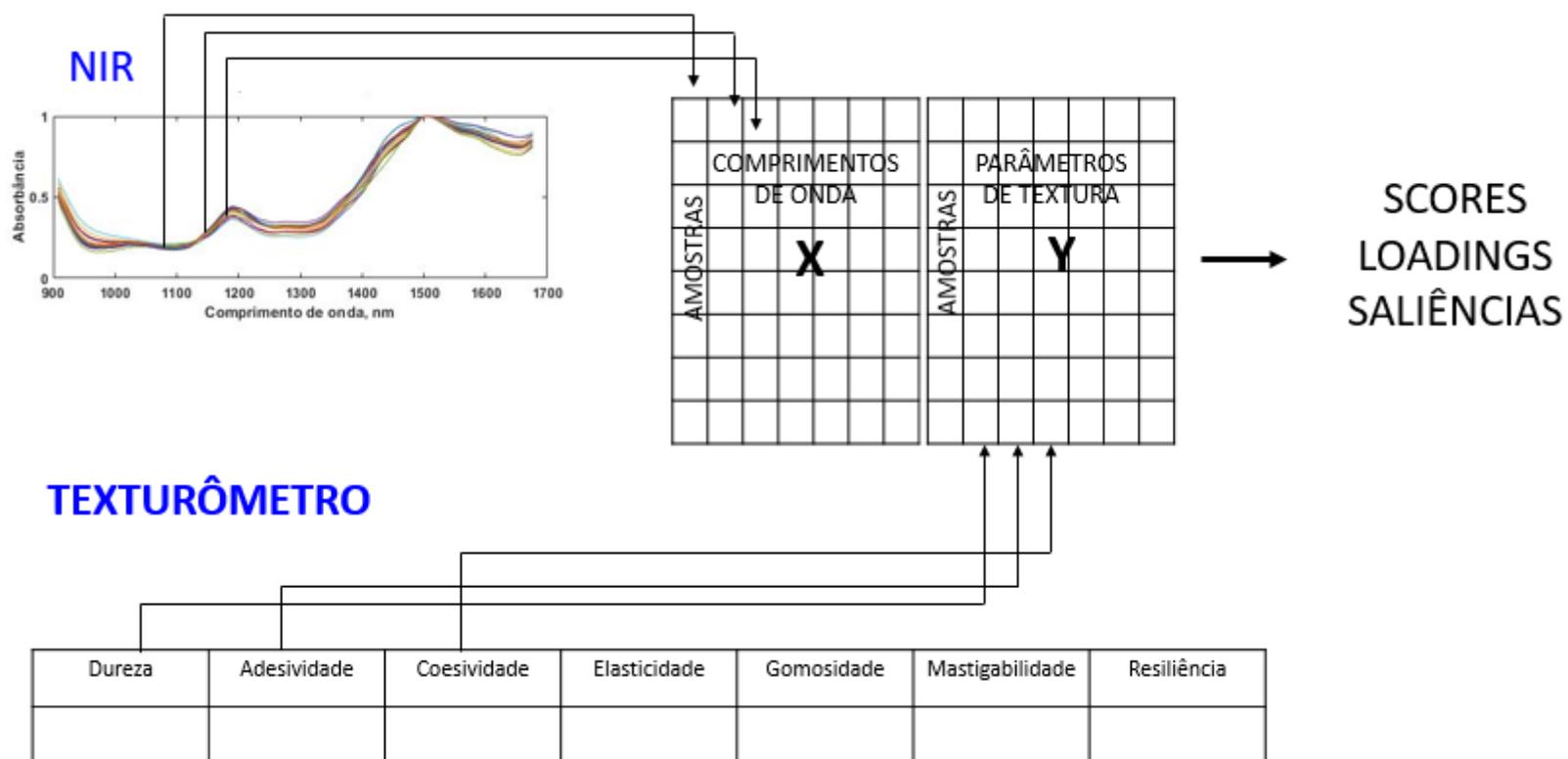
também foi aplicada aos resultados obtidos pela TPA. Porém, neste caso, os dados foram autoescalados.

4.4.4 ComDim

Para a análise ComDim, os dados foram organizados em duas tabelas, X e Y, dispostas lado a lado, conforme está representado na Figura 7. Para entendimento, digamos que a tabela X possui informações sobre o NIR, sendo em cada linha representada uma amostra e cada coluna trazendo informação sobre as variáveis medidas, ou seja, os valores de absorvância para cada um dos comprimentos de onda medidos. Na tabela Y, que traz informações a respeito das análises de perfil de textura, as colunas trazem informação sobre as variáveis medidas (dureza, gomosidade, mastigabilidade, resiliência, coesão, elasticidade e adesividade).

O ComDim foi aplicado na matriz construída com as informações X+Y, fornecendo como resultado gráficos de *scores* com informações sobre as amostras, de *loadings* com informações sobre as variáveis, além de um gráfico de saliência (importância) que mostra em qual das tabelas analisadas está a informação predominante para o padrão de distribuição das amostras observado no gráfico dos *scores*.

Figura 7 - Etapas da aplicação do método ComDim



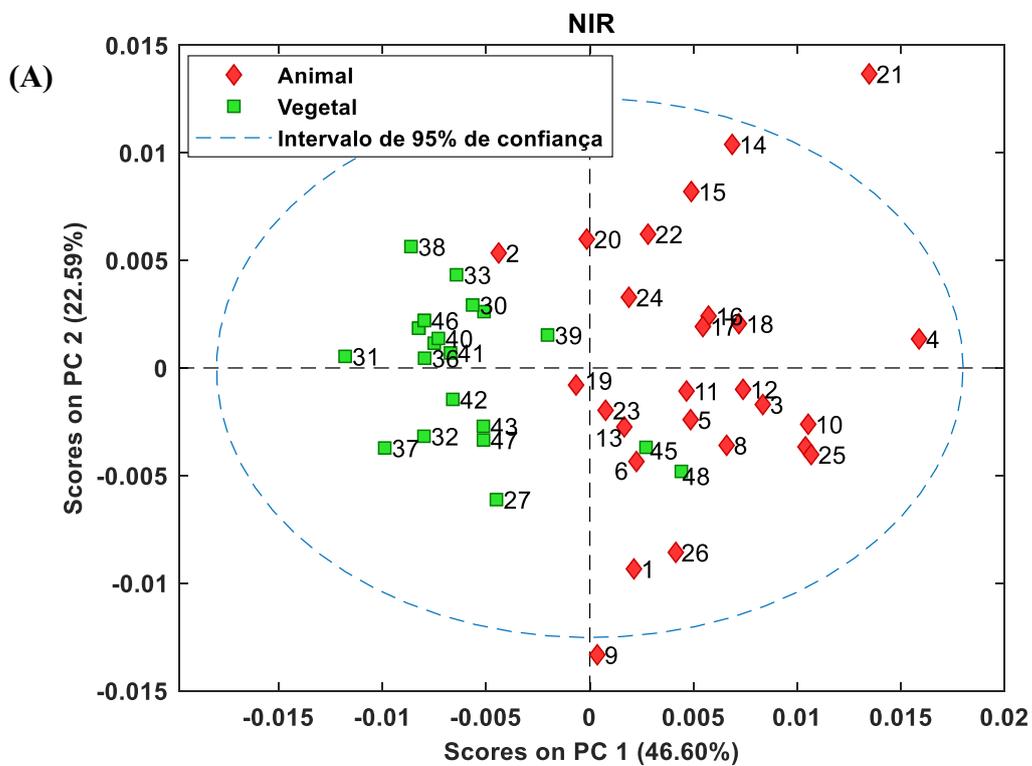
Fonte: Autoria Própria.

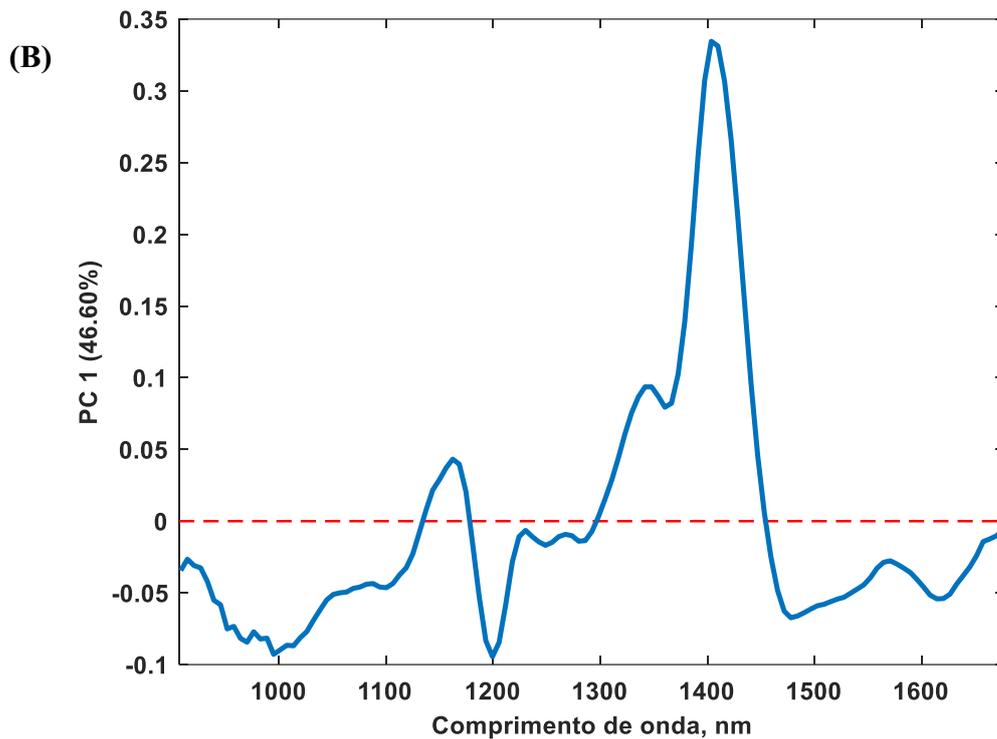
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR)

A distribuição apresentada pela aplicação de PCA nos dados NIR está representada na Figura 8. As duas primeiras componentes principais somadas capturaram 69,19% da variância total dos dados.

Figura 8 - (A) *Scores* e (B) *Loadings* obtidos pela Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos dados NIR





Fonte: Autoria própria.

Através da distribuição dos *scores*, Figura 8 (A), nota-se que a maioria das amostras de proteínas ficaram organizadas de acordo com a sua origem (origem animal em valores de PC1 positivo e origem vegetal em valores de PC1 negativo). Observou-se, porém, que a amostra 2, de acordo com a Tabela 2 é uma amostra de *whey protein* isolado e sem sabor, se assemelhou as amostras de origem vegetal. Além destas, as amostras 19 e 20 aparecem levemente deslocadas para os valores negativos de PC1. No entanto, pela proximidade do zero (em PC1), pode-se dizer que não estão comprometendo a eficiência da separação. Nota-se também que as amostras 45 e 48 estão dispostas como semelhante as amostras de proteína de origem animal. Neste caso, há algo de curioso a ser relatado: trata-se de amostras de *hemp protein*, as quais, conforme sugere a embalagem, apresentam todos os aminoácidos essenciais, tal como aquelas de origem animal. Desta forma, a distribuição das duas amostras estaria pertinente com o que se esperava.

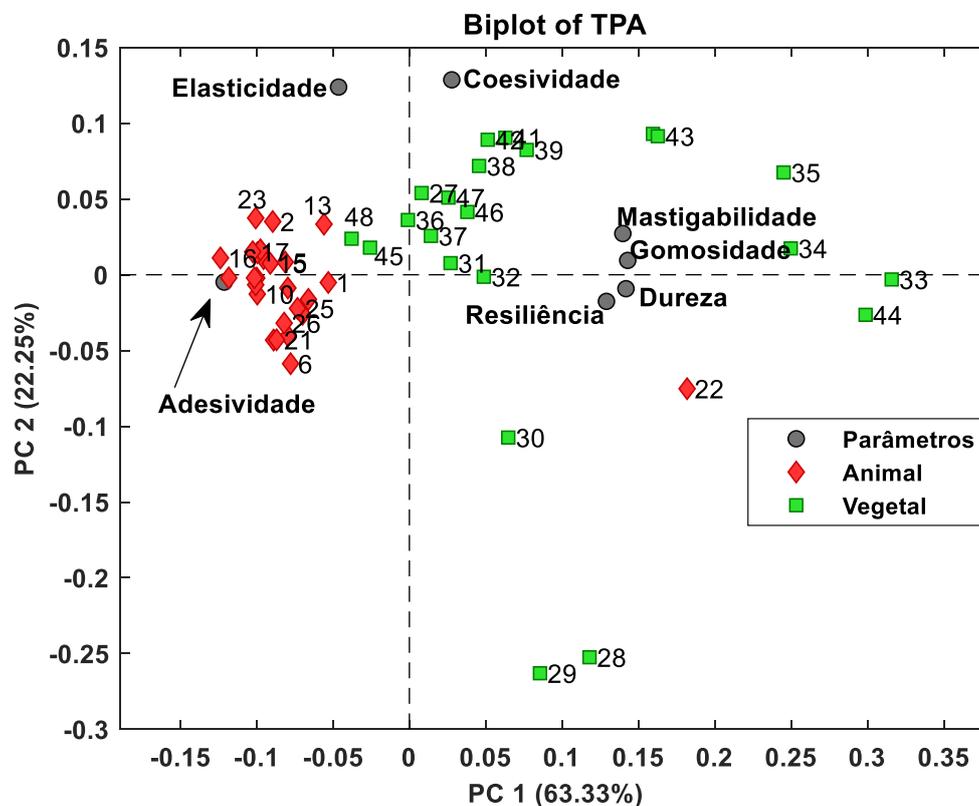
As regiões espectrais atribuídas a esta separação estão evidenciadas nos *loadings*, expostos na Figura 8 (B), onde considera-se que as regiões (bandas) que aparecem com valores positivos em PC1 (eixo y) devem ser atribuídas as amostras (*scores*, Figura 8-A) que se apresentam com valores positivos de PC1. Da mesma forma avaliam-se aquelas bandas com valores negativos. Portanto, é possível destacar algumas regiões como em 1150 nm e a região

entre 1300 – 1450 nm, (região com valores positivos para os *loadings* em PC1), que corresponde a absorção de segundo sobretom e de bandas de combinações de CH, e de primeiro sobretom das ligações NH e OH, presentes na estrutura das proteínas. Tais regiões são as responsáveis pela diferença observada entre as duas fontes proteicas e, segundo Ingle et al. (2016), esse tipo de absorção aumenta conforme o conteúdo de proteína presente na amostra (INGLE et al., 2016).

5.2 Análise do Perfil de Textura (TPA)

Os resultados para análise do perfil de textura para as amostras de origem animal e vegetal estão apresentados no apêndice. As proteínas apresentaram diferenças significativas por meio da ANOVA e teste de Tukey ($p < 0,05$) para todos os parâmetros avaliados. A aplicação de PCA nos dados obtidos para a média de 10 medidas do perfil de textura para cada amostra estão apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Análise de Componentes Principais aplicada aos dados obtidos pelo texturômetro



Fonte: Autoria própria.

Neste caso, PC1 e PC2 somadas explicaram 85,58% da variância total dos dados. Observa-se que, neste caso, por se tratar de variáveis discretas, o gráfico traz tanto a informação dos *scores* quanto dos *loadings* simultaneamente. Para manter a homogeneidade entre as diferentes massas, a análise foi realizada em recipiente padrão com diâmetro de 50 mm. Observa-se que a PC1 foi responsável pela separação da maioria das proteínas em relação a origem, estando as proteínas de origem animal dispostas em valores negativos de PC1, enquanto as de origem vegetal se apresentaram dispostas em valores de PC1 positivo, exceto para as amostras 45 e 48 (origem vegetal) e 22 (origem animal). Analisando os *loadings* (●), observa-se que as proteínas de origem animal estão associadas as características de adesividade e elasticidade, enquanto as amostras de proteína de origem vegetal associadas a características de coesividade, mastigabilidade, gomosidade, dureza e resiliência.

A adesividade é a força que resiste ao movimento de retirada da sonda após a primeira compressão, o valor obtido é negativo devido à força de medição aplicada de baixo para cima no texturômetro (MEI et al., 2018). Essa propriedade, na mastigação propriamente dita, é definida como a capacidade que o alimento possui de se aderir aos dentes (NISHINARI; FANG; ROSENTHAL, 2019). Os pães são alimentos que possuem geralmente baixa adesividade e ainda segundo Carochó et al. (2020), a dureza desses alimentos está diretamente relacionada com esse parâmetro de textura, indicando que os pães mais duros também foram os que apresentaram maior adesividade (CAROCHO et al., 2020).

A dureza representa a resistência de um alimento quando submetido a uma força, normalmente, já na primeira mordida ocorre uma degradação grosseira do alimento, e é uma medida extraída graficamente do texturômetro observando-se o ponto máximo da curva da primeira compressão (NISHINARI; FANG; ROSENTHAL, 2019). Diferente da dureza, que está relacionada com a estrutura inicial dos alimentos, os parâmetros de elasticidade, coesividade, mastigabilidade, gomosidade e resiliência estão relacionados com a elasticidade do alimento e com o processo de mastigação até que ele possa ser deglutido (MEI et al., 2018).

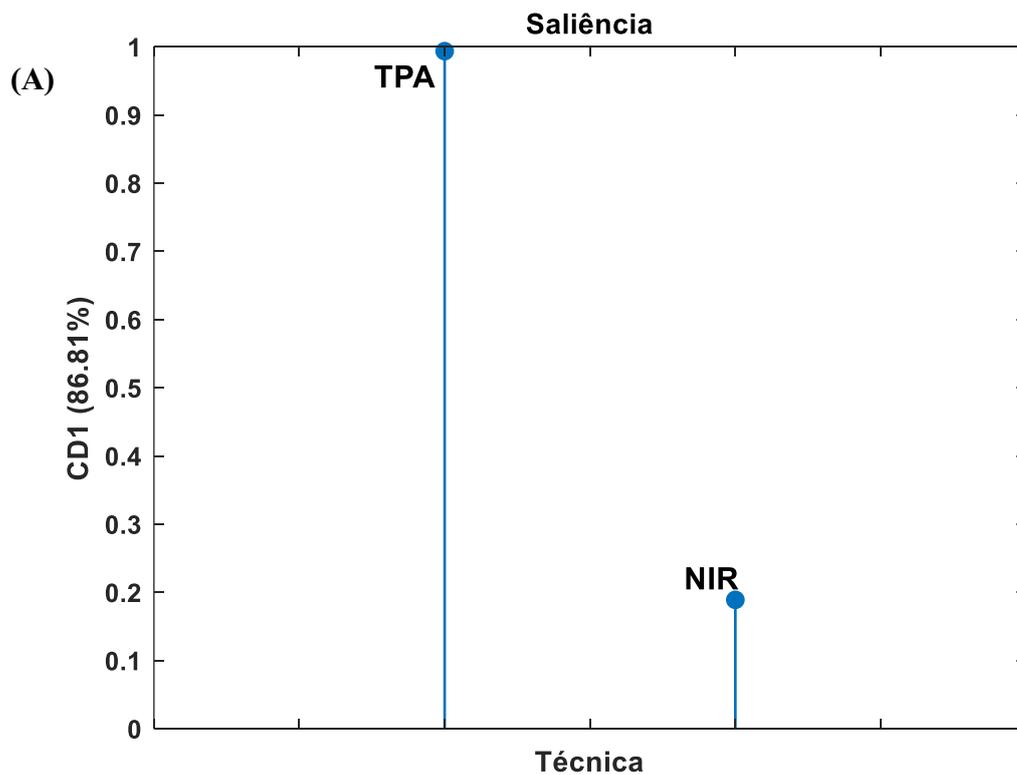
Estudos anteriores mostraram que proteínas vegetais (proteína texturizada de ervilha) costumam ser menos densas e mais porosas, sendo conseqüentemente menos resistentes a forças de compressão além de serem capazes de retornarem fisicamente cerca de 90% da sua dimensão original depois de serem comprimidas, logo, são também mais elásticas (WEBB et al., 2020). Zhu e colaboradores observaram resultados semelhantes em proteína texturizada de amendoim (ZHU et al., 2021). No entanto, de acordo com os autores, as interações proteína-

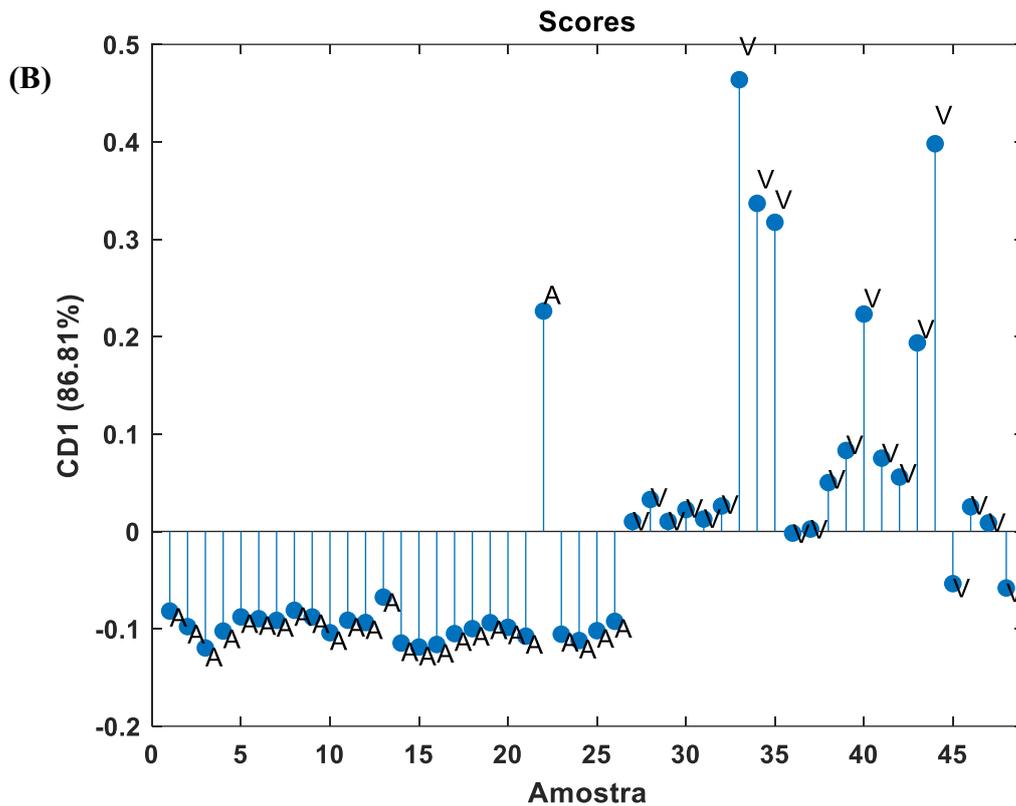
proteína podem sofrer interferência do amido. A proporção de amilose:amilopectina nos vegetais depende da fonte botânica e do grau de maturação da planta, sendo que teores de amilose estão diretamente relacionados com a dureza.

5.3 Análise por Dimensões Comuns (ComDim)

A análise ComDim permitiu relacionar as técnicas empregadas, no caso NIR e TPA, utilizando-se a matriz somatória das duas técnicas. A primeira dimensão comum (CD1) explicou 86,81% da variância total dos dados, e os resultados observados para a CD1 estão ilustrados na Figura 10 (A) para as saliências e (B) os *scores*.

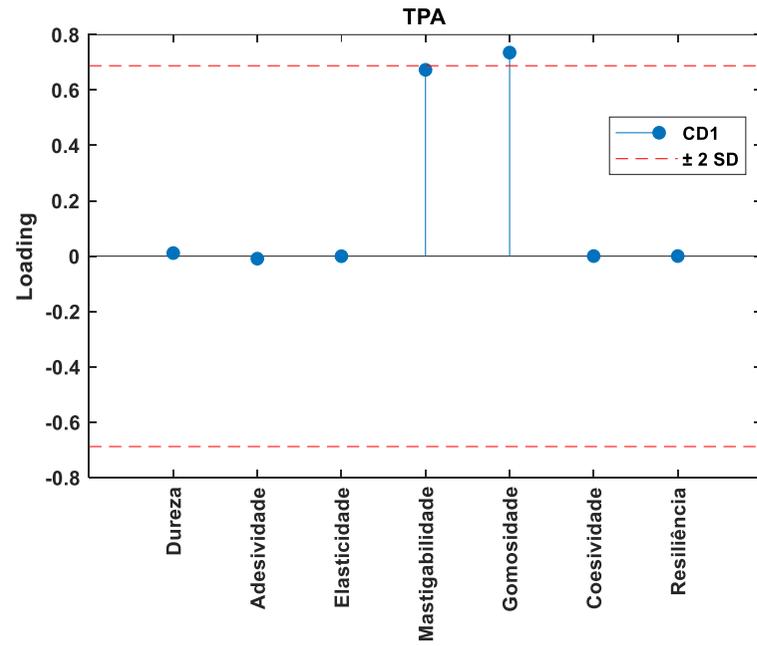
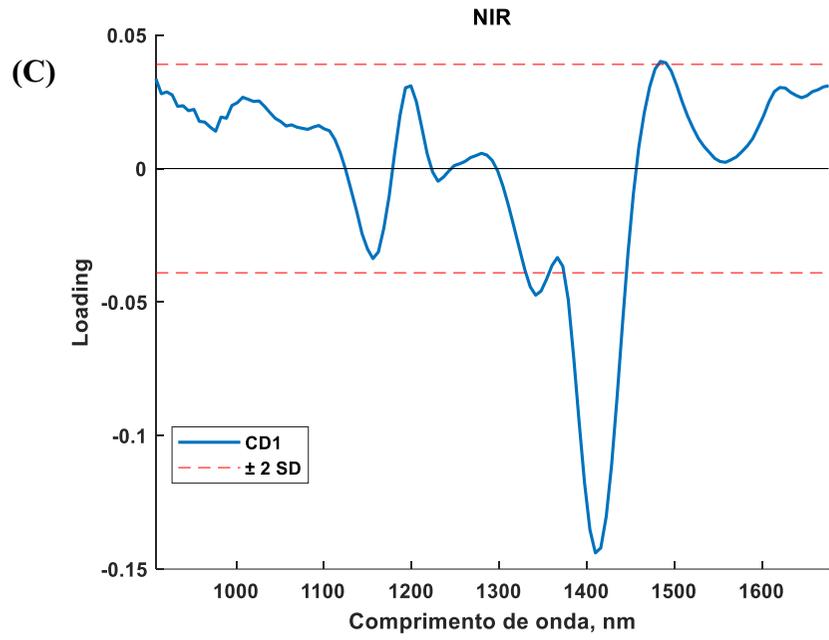
Figura 10 - Resultado da análise por ComDim: (A) Saliências; (B) Scores (C) Loadings





Fonte: Autoria própria.

Observa-se a partir da Figura 10 (A) que a técnica mais influente (aquela que apresenta maior saliência) na distribuição dos *scores* observados na CD1 está associada as análises de perfil de textura. Avaliando os gráficos de *scores*, Figura 10 (B), noticia-se a formação de dois diferentes grupos, que se diferem em relação a origem das amostras, vegetal ou animal, assim como foi descrito na análise de componentes principais. Pode-se observar que aquelas de origem vegetal ficaram na região positiva de CD1, exceto as amostras 45 e 48, enquanto as de origem animal ficaram na região negativa, exceto a amostra 22. Uma das hipóteses para a semelhança observada entre as amostras 45 e 48, que são de origem vegetal, com as amostras de origem animal seja devido ao caráter composicional, conforme as informações do rótulo, de que elas possuam quantidades de aminoácidos essenciais comparáveis as amostras de proteínas de origem animal. De fato, as amostras 45 e 48 são atribuídas a proteínas extraídas da planta *Hemp*, que é uma planta incomum e pouco popular, uma vez que se trata de um alimento cujo cultivo é proibido na maior parte do mundo, tendo como consequência seu uso restrito. Os gráficos dos *loadings*, Figura 10 (C), podem ser usados para definir quais variáveis de cada bloco são importantes para a separação observada nos *scores* da CD1.



Fonte: Autoria própria.

Neste caso, os *loadings* de TPA (as variáveis do perfil de textura) responsáveis pela diferenciação das amostras foram mastigabilidade e gomosidade, os quais estão relacionados com a região do espectro NIR entre 900 – 1130 nm, 1190 – 1300 nm e 1450 – 1700 nm. Este resultado indica que estas regiões do espectro podem ser usadas para se diferenciar as proteínas com relação as origens, e que igualmente podem ser usadas para prever sobre maiores índices de mastigabilidade e gomosidade. Desta forma, caso seja desejável prever substituições de proteínas em formulações alimentícias, é possível monitorar as regiões entre 900 – 1130 nm, 1190 – 1300 nm e 1450 – 1700 nm para descrever ou prever os parâmetros de mastigabilidade e gomosidade das proteínas, além de se distinguir sobre as origens destes alimentos.

6 CONCLUSÃO

Foi possível diferenciar a maioria das proteínas de origem vegetal daquelas de origem animal, tanto a partir do uso da técnica de espectroscopia de infravermelho próximo quanto dos dados de análise de perfil de textura, utilizando-se a ferramenta de análise de componentes principais.

A PCA permitiu encontrar as regiões espectrais responsáveis por diferenciar as amostras com relação à origem, sendo determinadas as bandas em 1150 nm e a região entre 1300 – 1450 nm, atribuídas ao segundo sobretom e bandas de combinação de CH, e de primeiro sobretom das ligações NH e OH, presentes na estrutura das proteínas. Além disso, a aplicação de PCA nos dados de TPA indicaram que as proteínas de origem animal estão associadas a características de adesividade e elasticidade, enquanto as amostras de proteína de origem vegetal estão associadas a características de coesividade, mastigabilidade, gomosidade, dureza e resiliência.

Utilizando a metodologia ComDim, concluiu-se que as variáveis do perfil de textura mastigabilidade e gomosidade estão relacionados com a região do espectro NIR entre 900 – 1130 nm, 1190 – 1300 nm e 1450 – 1700 nm, e que estas regiões podem ser usadas para se diferenciar as proteínas com relação as origens, e que igualmente podem ser usadas para prever sobre maiores índices de mastigabilidade e gomosidade. Portanto, no caso de substituições de proteínas em formulações alimentícias, é possível monitorar as regiões entre 900 – 1130 nm, 1190 – 1300 nm e 1450 – 1700 nm para descrever ou prever os parâmetros de mastigabilidade e gomosidade das proteínas, além de se distinguir sobre as origens destes alimentos.

Com isso, conclui-se que a metodologia empregada possibilitou inferir sobre as similaridades e diferenças entre as amostras de proteínas estudadas de acordo com a origem, se animal ou vegetal, com potencial para ser empregada tanto na distinção de proteínas para consumidores restritivos, como veganos e vegetarianos, quanto na modelagem de sistemas quantitativos para previsão de características de alimentos enriquecidos com diferentes proteínas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. C. et al. In vitro digestibility of commercial whey protein supplements. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 7–11, 2015.
- ANGELINO, D. et al. Fruit and vegetable consumption and health outcomes: an umbrella review of observational studies. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 70, n. 6, p. 652–667, 2019.
- ASCHEMANN-WITZEL, J.; PESCHEL, A. O. Consumer perception of plant-based proteins: The value of source transparency for alternative protein ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 96, n. January, p. 20–28, 2019.
- ASSIS, C. et al. Combining mid infrared spectroscopy and paper spray mass spectrometry in a data fusion model to predict the composition of coffee blends. **Food Chemistry**, v. 281, p. 71–77, 2019.
- BAILEY, H. M. et al. Most meat products have digestible indispensable amino acid scores that are greater than 100, but processing may increase or reduce protein quality. **British Journal of Nutrition**, n. February, 2020.
- BARNARD, N. D. et al. Plant-based diets for cardiovascular safety and performance in endurance sports. **Nutrients**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2019.
- BARROS NETO, B. DE; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. 25 anos de quimiometria no Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1401–1406, 2006.
- BECKER-ALGERI, T. A. et al. Seasonal variation of milk quality: Physicochemical, microbiological, and toxicological. **Journal of Food Safety**, v. 1, n. October 2018, p. 1–12, 2020.
- BILSBOROUGH, S.; MANN, N. A review of issues of dietary protein intake in humans. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 16, n. 2, p. 129–152, 2006.
- BOHRER, B. M. Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. **Trends in Food Science and Technology**, v. 65, p. 103–112, 2017.
- BRADLEE, M. L. et al. High-protein foods and physical activity protect against age-related muscle loss and functional decline. **Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences**, v. 73, n. 1, p. 88–94, 2018.
- BRERETON, R. G. Pattern recognition in chemometrics. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 149, p. 90–96, 2015.
- BRO, R.; SMILDE, A. K. Principal component analysis. **Analytical methods**, v. 6, n. 9, p. 2812–2831, 2014.
- BROWN, A. F. et al. Higher-protein intake and physical activity are associated with healthier body composition and cardiometabolic health in Hispanic adults. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 30, p. 145–151, 2019.
- CALLAO, M. P.; RUISÁNCHEZ, I. An overview of multivariate qualitative methods for food fraud detection. **Food Control**, v. 86, p. 283–293, 2018.
- CARIOU, V. et al. ComDim: From multiblock data analysis to path modeling. **Food Quality and Preference**, v. 67, p. 27–34, 2018.

- CARLSEN, M. H. et al. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. **Nutrition Journal**, v. 9, n. 1, p. 1–11, 2010.
- CAROCHO, M. et al. Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters. **Food Chemistry**, v. 310, p. 125954, 2020.
- CHEN, L.; OPARA, U. L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods - A review. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 823–835, 2013.
- CORGNEAU, M. et al. Nutritional quality evaluation of commercial protein supplements. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 54, n. 8, p. 2586–2594, 2019.
- CRUZ-JENTOFT, A. J. et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis. **Age and Ageing**, v. 39, n. 4, p. 412–423, 2010.
- DE GAVELLE, E. et al. Self-declared attitudes and beliefs regarding protein sources are a good prediction of the degree of transition to a low-meat diet in France. **Appetite**, v. 142, n. July, p. 104345, 2019.
- EL-SOHAIFY, S. A. et al. Physicochemical, texture and sensorial evaluation of pasta enriched with chickpea flour and protein isolate. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65, n. 1, p. 28–34, 2020.
- ETEMADI, A. et al. Mortality from different causes associated with meat, heme iron, nitrates, and nitrites in the NIH-AARP Diet and Health Study: Population based cohort study. **BMJ (Online)**, v. 357, 2017.
- FANG, X. et al. Dietary intake of heme iron and risk of cardiovascular disease: Adose-response meta-analysis of prospective cohort studies. **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 25, n. 1, p. 24–35, 2015.
- FAO. **The State of the Food and Agriculture**. [s.l.: s.n.]. v. 38
- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/ab5c9fca-dd15-58e0-93a8-d71e028c8282/>>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- FERREIRA, M. M. C. **Quimiometria: conceitos, métodos e aplicações**. 1^a ed. Campinas-SP: Editora da UNICAMP, 2015.
- GRANATO, D. et al. Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective. **Trends in Food Science and Technology**, v. 72, n. 2018, p. 83–90, 2018.
- GUELLIS, C. et al. Non-targeted method to detect honey adulteration: Combination of electrochemical and spectrophotometric responses with principal component analysis. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 89, n. December 2019, p. 103466, 2020.
- GUO, Z. et al. Nondestructive monitoring storage quality of apples at different temperatures by near-infrared transmittance spectroscopy. **Food Science and Nutrition**, n. April, p. 1–13, 2020.
- HAN, S. W.; CHEE, K. M.; CHO, S. J. Nutritional quality of rice bran protein in comparison to animal and vegetable protein. **Food Chemistry**, v. 172, n. September, p. 766–769, 2015.
- HEVER, J. Plant-Based Diets: A Physician’s Guide SUMMARY OF HEALTH BENEFITS. **The Permanente Journal/Perm J 2016 Summer Perm J 2016 Summer**, v. 2020, n. 33, p. 15–82, 2016.
- INGLE, P. D. et al. Determination of protein content by NIR spectroscopy in protein powder

- mix products. **Journal of AOAC International**, v. 99, n. 2, p. 360–363, 2016.
- JANSSEN, M. et al. Motives of consumers following a vegan diet and their attitudes towards animal agriculture. **Appetite**, v. 105, p. 643–651, 2016.
- JĘDRUSEK-GOLIŃSKA, A. et al. Recent progress in the use of functional foods for older adults: A narrative review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 2, p. 835–856, 2020.
- KHAN, I. T. et al. Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. **Lipids in Health and Disease**, v. 18, n. 1, p. 1–13, 2019.
- KIM, I. Y. et al. The anabolic response to a meal containing different amounts of protein is not limited by the maximal stimulation of protein synthesis in healthy young adults. **American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism**, v. 310, n. 1, p. E73–E80, 2015.
- LAWRENCE, A. D. et al. Construction of Fluorescent Analogs to Follow the Uptake and Distribution of Cobalamin (Vitamin B 12) in Bacteria, Worms, and Plants. **Cell Chemical Biology**, v. 25, n. 8, p. 941- 951.e6, 2018.
- LEME, L. M. et al. Fast non-invasive screening to detect fraud in oil capsules. **Lwt**, v. 109, n. April, p. 179–185, 2019.
- LEME, L. M. L. M. et al. Relation Between Near-Infrared Spectroscopy and Physicochemical Parameters for Discrimination of Honey Samples from Jatai weyrauchi and Jatai angustula Bees. **Food Analytical Methods**, v. 11, n. 7, p. 1944–1950, jan. 2018.
- LI, C. YU et al. Amount Rather than Animal vs Plant Protein Intake Is Associated with Skeletal Muscle Mass in Community-Dwelling Middle-Aged and Older Chinese Adults: Results from the Guangzhou Nutrition and Health Study. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, p. 1–10, 2019.
- LIN, L. et al. Rapid-detection sensor for rice grain moisture based on NIR spectroscopy. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 9, n. 8, 2019.
- M. LOUDIYI, D.N. RUTLEDGE, A. A.-K. ComDim for explorative multi-block data analysis of Cantal-type cheeses: Effects of salts, gentle heating and ripening. **Food Chemistry**, v. 264, p. 401–410, 2018.
- MA, H. LIANG et al. Rapid authentication of starch adulterations in ultrafine granular powder of Shanyao by near-infrared spectroscopy coupled with chemometric methods. **Food Chemistry**, v. 215, p. 108–115, 2017.
- MALEK, L.; UMBERGER, W. J.; GODDARD, E. Committed vs. uncommitted meat eaters: Understanding willingness to change protein consumption. **Appetite**, v. 138, n. February, p. 115–126, 2019.
- 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, n. 4, p. 490–499, 2017.
- MEI, M. S. et al. Correlation of instrumental texture properties from textural profile analysis (TPA) with eating behaviours and macronutrient composition for a wide range of solid foods. **Food and Function**, v. 9, n. 10, p. 5301–5312, 2018.
- MICHAUD, D. S. et al. A prospective study on intake of animal products and risk of prostate cancer. **Cancer Causes and Control**, v. 12, n. 6, p. 557–567, 2001.

- NAVAS-CARRETERO, S. et al. Higher vegetable protein consumption, assessed by an isoenergetic macronutrient exchange model, is associated with a lower presence of overweight and obesity in the web-based Food4me European study. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 70, n. 2, p. 240–253, 2019.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Principles of Biochemistry**. Fourth ed. [s.l.: s.n.]. v. 17
- NEPA, N. DE E. E P. EM A.; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/nepa>>. Acesso em: 4 fev. 2020.
- NICOLAÏ, B. M. et al. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 99–118, 2007.
- NISHINARI, K.; FANG, Y.; ROSENTHAL, A. Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. **Journal of Texture Studies**, v. 50, n. 5, p. 369–380, 2019.
- ORLICH, M. J. et al. Vegetarian dietary patterns and mortality in adventist health study 2. **JAMA Internal Medicine**, v. 173, n. 13, p. 1230–1238, 2013.
- OSBORNE, B. G. Principles and practice of near infra-red (NIR) reflectance analysis. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 16, n. 1, p. 13–19, 1981.
- PARTULA, V. et al. Associations between consumption of dietary fibers and the risk of cardiovascular diseases, cancers, type 2 diabetes, and mortality in the prospective NutriNet-Santé cohort. **The American journal of clinical nutrition**, v. 112, n. 1, p. 195–207, 2020.
- PELL, R. J. et al. Process analytical chemistry and chemometrics, Bruce Kowalski's legacy at The Dow Chemical Company. **Journal of Chemometrics**, v. 28, n. 5, p. 321–331, 2014.
- PEREIRA, E. V. DOS S. et al. Simultaneous determination of goat milk adulteration with cow milk and their fat and protein contents using NIR spectroscopy and PLS algorithms. **Lwt**, v. 127, n. April, p. 109427, 2020.
- QANNARI, E. M.; WAKELING, I.; MACFIE, H. J. H. A hierarchy of models for analysing sensory data. **Food Quality and Preference**, v. 6, n. 4, p. 309–314, 1995.
- QUINTELAS, C. et al. Quantification of pharmaceutical compounds in wastewater samples by near infrared spectroscopy (NIR). **Talanta**, v. 194, n. 8, p. 507–513, 2019.
- RIZZO, N. S. et al. Nutrient Profiles of Vegetarian and Nonvegetarian Dietary Patterns. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 113, n. 12, p. 1610–1619, 2013.
- ROCHA, L. et al. Rapid non-invasive assessment of quality parameters in ground soybean using near-infrared spectroscopy. **Pesq. agropec. bras.**, n. 1, p. 97–104, 2018.
- ROSA, L. N. et al. Multi-block data analysis using ComDim for the evaluation of complex samples: Characterization of edible oils. **Analytica Chimica Acta**, v. 961, p. 42–48, 2017.
- ROSELL, M. et al. Weight gain over 5 years in 21 966 meat-eating, fish-eating, vegetarian, and vegan men and women in EPIC-Oxford. **International Journal of Obesity**, v. 30, n. 9, p. 1389–1396, 2006.
- SAHNI, S. et al. Higher protein intake is associated with higher lean mass and quadriceps muscle strength in adult men and women. **Journal of Nutrition**, v. 145, n. 7, p. 1569–1575, 2015.
- SÁNCHEZ-OLIVER, A. J. et al. Quality analysis of commercial protein powder supplements and relation to characteristics declared by manufacturer. **Lwt**, v. 97, n. February, p. 100–108,

2018.

SATO, K.; KUDO, Y.; MURAMATSU, K. Incorporation of a high level of vitamin B12 into a vegetable, kaiware daikon (Japanese radish sprout), by the absorption from its seeds.

Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects, v. 1672, n. 3, p. 135–137, 2004.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothig and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1639–1643, 1964.

SERIN, H. M.; ARSLAN, E. A. Neurological symptoms of vitamin b12 deficiency: Analysis of pediatric patients*. **Acta Clinica Croatica**, v. 58, n. 2, p. 295–302, 2019.

SHI, H. et al. Evaluation of near-infrared (NIR) and Fourier transform mid-infrared (ATR-FT/MIR) spectroscopy techniques combined with chemometrics for the determination of crude protein and intestinal protein digestibility of wheat. **Food Chemistry**, v. 272, p. 507–513, 2019.

SIDDIQUI, M. R.; ALOTHMAN, Z. A.; RAHMAN, N. Analytical techniques in pharmaceutical analysis: A review. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, p. S1409–S1421, 2017.

SINHA, R. et al. Development of a food frequency questionnaire module and databases for compounds in cooked and processed meats. **Molecular Nutrition and Food Research**, v. 49, n. 7, p. 648–655, 2005.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. [s.l.: s.n.].

Stable Micro Systems. Disponível em:

<<https://www.stablemicrosystems.com/TAXTExpress.html>>. Acesso em: 4 fev. 2020.

TANG, Y.; JIANG, H.; BRYAN, N. S. Nitrite and nitrate: Cardiovascular risk-benefit and metabolic effect. **Current Opinion in Lipidology**, v. 22, n. 1, 2011.

THOMAS, D. T.; ERDMAN, K. A.; BURKE, L. M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 116, n. 3, p. 501–528, 2016.

TRUMBO, P.; SCHLLICKER, S.; YATES, AA; POOS, M. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids. **American Dietetic Association**, v. 102, n. 11, p. 1621–1630, 2002.

TUSO, P. J. et al. Nutritional update for physicians: plant-based diets. **The Permanente journal**, v. 17, n. 2, p. 61–66, 2013.

VAINIO, A. et al. From beef to beans: Eating motives and the replacement of animal proteins with plant proteins among Finnish consumers. **Appetite**, v. 106, p. 92–100, 2016.

VAN VLIET, S.; BURD, N. A.; VAN LOON, L. J. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. **The Journal of Nutrition**, v. 145, n. 9, p. 1981–1991, 2015.

VIEIRA, T. F. et al. Chemometric Approach Using ComDim and PLS-DA for Discrimination and Classification of Commercial Yerba Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 1, p. 97–107, 2020.

WALKER, C. et al. Comparing environmental and personal health impacts of individual food choices. **Science of the Total Environment**, v. 685, p. 609–620, 2019.

WANG, X. et al. Protein-enriched fiber vegan meal promote satiety and suppress food intake in rats. **Food Science and Nutrition**, v. 8, n. 6, p. 2780–2788, 2020.

- WEBB, D. et al. Role of chickpea flour in texturization of extruded pea protein. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 12, p. 4180–4187, 2020.
- WOLD, S.; ESBENSEN, K. I. M.; GELADI, P. Principal component analysis. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 2, n. 1–3, p. 37–52, ago. 1987.
- 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.
- YANG, J. et al. Detection of plant protein in adulterated milk using nontargeted nano-high-performance liquid chromatography–tandem mass spectroscopy combined with principal component analysis. **Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 1, p. 56–64, 2019.
- ZAUKUU, J. L. Z. et al. Detecting Low Concentrations of Nitrogen-Based Adulterants in Whey Protein Powder Using Benchtop and Handheld NIR Spectrometers and the Feasibility of Scanning through Plastic Bag. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 25, n. 11, p. 1–15, 2020.
- ZHU, D. et al. Differences in starch structure, physicochemical properties and texture characteristics in superior and inferior grains of rice varieties with different amylose contents. **Food Hydrocolloids**, v. 110, n. July 2020, p. 106170, 2021.

APÊNDICE A – Resultados Para Análise Do Perfil De Textura

**RESULTADOS PARA ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA (TPA) DAS
PROTEÍNAS COMERCIAIS DE ORIGEM ANIMAL**

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
1	0,33 ± 0,04	-0,39 ± 0,10	0,97 ± 0,02	20,65 ± 2,93	21,24 ± 2,84	0,63 ± 0,04	0,08 ± 0,01
2	0,18 ± 0,05	-0,17 ± 0,01	0,97 ± 0,01	12,34 ± 4,64	12,75 ± 4,71	0,69 ± 0,05	0,06 ± 0,01
3	0,15 ± 0,03	-0,18 ± 0,01	0,96 ± 0,01	9,42 ± 2,46	9,76 ± 2,48	0,63 ± 0,04	0,04 ± 0,01
4	0,29 ± 0,07	-0,39 ± 0,05	0,96 ± 0,01	17,36 ± 5,02	17,98 ± 5,03	0,60 ± 0,03	0,07 ± 0,01
5	0,30 ± 0,05	-0,59 ± 0,12	0,97 ± 0,01	18,88 ± 3,67	19,39 ± 3,69	0,64 ± 0,09	0,05 ± 0,01
6	0,33 ± 0,06	-0,54 ± 0,10	0,95 ± 0,02	17,48 ± 3,93	18,36 ± 3,95	0,55 ± 0,06	0,06 ± 0,01
7	0,31 ± 0,09	-0,41 ± 0,05	0,97 ± 0,01	19,73 ± 5,80	20,23 ± 5,93	0,64 ± 0,03	0,04 ± 0,01
8	0,36 ± 0,02	0,62 ± 0,04	0,96 ± 0,00	21,76 ± 1,82	22,62 ± 1,84	0,61 ± 0,03	0,06 ± 0,01
9	0,29 ± 0,07	-0,37 ± 0,03	0,98 ± 0,00	18,47 ± 5,38	18,90 ± 5,49	0,64 ± 0,02	0,04 ± 0,01
10	0,26 ± 0,03	-0,55 ± 0,03	0,96 ± 0,01	15,20 ± 2,12	15,87 ± 2,13	0,61 ± 0,04	0,04 ± 0,01
11	0,29 ± 0,06	-0,41 ± 0,03	0,97 ± 0,00	17,64 ± 4,55	18,21 ± 4,66	0,62 ± 0,02	0,04 ± 0,01
12	0,39 ± 0,31	0,61 ± 0,04	0,96 ± 0,01	17,64 ± 2,36	18,42 ± 2,41	0,62 ± 0,03	0,05 ± 0,01
13	0,47 ± 0,24	-0,41 ± 0,09	0,98 ± 0,01	33,92 ± 18,56	34,66 ± 18,95	0,70 ± 0,05	0,10 ± 0,05
14	0,15 ± 0,06	-0,23 ± 0,04	0,92 ± 0,01	9,60 ± 4,15	10,45 ± 4,45	0,69 ± 0,02	0,05 ± 0,01
15	0,12 ± 0,01	-0,22 ± 0,02	0,92 ± 0,01	7,84 ± 0,86	8,49 ± 0,95	0,68 ± 0,02	0,06 ± 0,01
16	0,15 ± 0,04	-0,36 ± 0,09	0,97 ± 0,01	9,65 ± 2,35	9,97 ± 2,36	0,64 ± 0,01	0,03 ± 0,00
17	0,24 ± 0,14	-0,17 ± 0,02	0,97 ± 0,03	16,21 ± 9,81	16,63 ± 9,71	0,68 ± 0,06	0,06 ± 0,04
18	0,25 ± 0,04	-0,49 ± 0,04	0,96 ± 0,03	15,34 ± 3,40	15,98 ± 3,39	0,62 ± 0,03	0,04 ± 0,01
19	0,27 ± 0,02	-0,56 ± 0,05	0,95 ± 0,01	15,18 ± 1,25	15,91 ± 1,21	0,58 ± 0,03	0,06 ± 0,01
20	0,24 ± 0,02	-0,39 ± 0,06	0,96 ± 0,01	13,34 ± 1,43	13,89 ± 1,46	0,57 ± 0,03	0,06 ± 0,01
21	0,26 ± 0,03	-0,40 ± 0,06	0,96 ± 0,02	14,24 ± 2,05	14,86 ± 1,98	0,57 ± 0,03	0,06 ± 0,01
22	2,27 ± 0,17	-1,12 ± 0,50	0,85 ± 0,08	113,91 ± 16,43	133,38 ± 8,21	0,58 ± 0,06	0,11 ± 0,01
23	0,17 ± 0,07	-0,18 ± 0,03	0,97 ± 0,01	11,83 ± 5,86	12,17 ± 5,88	0,69 ± 0,05	0,05 ± 0,02
24	0,16 ± 0,01	-0,33 ± 0,04	0,95 ± 0,01	9,52 ± 0,44	10,00 ± 0,47	0,64 ± 0,04	0,05 ± 0,01
25	0,27 ± 0,03	-0,37 ± 0,06	0,97 ± 0,01	16,36 ± 3,08	16,80 ± 3,02	0,60 ± 0,03	0,07 ± 0,01
26	0,30 ± 0,09	-0,40 ± 0,05	0,97 ± 0,01	17,74 ± 7,21	18,24 ± 7,21	0,58 ± 0,05	0,06 ± 0,01

1: Dureza (N); **2:** Adesividade (N.s); **3:** Elasticidade (mm); **4:** Mastigabilidade; **5:** Gomosidade; **6:** Coesividade; **7:** Resiliência.

**RESULTADOS PARA ANÁLISE DO PERFIL DE TEXTURA (TPA) DAS
PROTEÍNAS COMERCIAIS DE ORIGEM VEGETAL**

Amostra	1	2	3	4	5	6	7
27	0,68 ± 0,10	-1,24 ± 0,18	0,97 ± 0,01	48,16 ± 6,12	49,62 ± 6,16	0,71 ± 0,04	0,07 ± 0,01
28	1,39 ± 0,32	-2,22 ± 0,27	0,55 ± 0,12	38,05 ± 7,55	69,92 ± 5,59	0,51 ± 0,09	0,10 ± 0,01
29	1,24 ± 0,25	-2,21 ± 0,25	0,53 ± 0,06	32,65 ± 5,11	62,11 ± 8,42	0,50 ± 0,05	0,08 ± 0,01
30	0,98 ± 0,14	-2,04 ± 0,20	0,75 ± 0,16	44,35 ± 12,51	59,02 ± 4,43	0,60 ± 0,10	0,08 ± 0,01
31	0,72 ± 0,15	-1,47 ± 0,36	0,91 ± 0,09	44,42 ± 4,82	49,20 ± 5,58	0,68 ± 0,06	0,08 ± 0,01
32	0,83 ± 0,23	-1,74 ± 0,39	0,87 ± 0,12	48,67 ± 5,36	56,56 ± 9,26	0,69 ± 0,07	0,08 ± 0,01
33	3,33 ± 0,54	-1,89 ± 0,53	0,94 ± 0,06	193,31 ± 27,82	207,15 ± 31,18	0,61 ± 0,03	0,11 ± 0,01
34	2,42 ± 0,43	-2,13 ± 0,78	0,93 ± 0,05	151,62 ± 19,32	162,42 ± 21,16	0,66 ± 0,05	0,11 ± 0,01
35	2,15 ± 0,34	-3,26 ± 0,90	0,96 ± 0,04	147,40 ± 14,48	154,40 ± 14,45	0,71 ± 0,06	0,09 ± 0,01
36	0,63 ± 0,11	-1,22 ± 0,28	0,96 ± 0,01	42,40 ± 7,10	44,13 ± 7,23	0,69 ± 0,02	0,07 ± 0,00
37	0,65 ± 0,11	-1,26 ± 0,33	0,94 ± 0,06	42,71 ± 6,28	45,68 ± 6,72	0,69 ± 0,04	0,08 ± 0,01
38	0,81 ± 0,10	-1,89 ± 0,14	0,96 ± 0,01	59,03 ± 6,11	61,27 ± 6,29	0,74 ± 0,02	0,07 ± 0,01
39	0,98 ± 0,04	-1,91 ± 0,10	0,97 ± 0,00	72,45 ± 3,83	74,73 ± 3,79	0,75 ± 0,02	0,08 ± 0,01
40	1,61 ± 0,12	-2,80 ± 0,48	0,98 ± 0,01	117,60 ± 10,29	120,71 ± 9,80	0,74 ± 0,04	0,07 ± 0,01
41	0,92 ± 0,13	-1,99 ± 0,23	0,97 ± 0,00	68,45 ± 9,25	70,56 ± 9,47	0,76 ± 0,02	0,07 ± 0,01
42	0,83 ± 0,05	-1,93 ± 0,12	0,97 ± 0,00	62,19 ± 4,93	64,11 ± 5,12	0,76 ± 0,03	0,07 ± 0,01
43	1,44 ± 0,15	-2,24 ± 0,29	0,97 ± 0,01	108,66 ± 11,53	111,52 ± 11,10	0,76 ± 0,01	0,10 ± 0,01
44	2,91 ± 0,35	-1,22 ± 0,62	0,87 ± 0,08	165,25 ± 23,61	189,56 ± 17,70	0,64 ± 0,05	0,14 ± 0,02
45	0,44 ± 0,07	-0,77 ± 0,23	0,96 ± 0,01	28,83 ± 4,29	29,97 ± 4,68	0,67 ± 0,02	0,08 ± 0,01
46	0,74 ± 0,07	-1,30 ± 0,18	0,95 ± 0,03	50,88 ± 2,86	53,31 ± 3,00	0,71 ± 0,04	0,09 ± 0,01
47	0,77 ± 0,39	-1,27 ± 0,20	0,94 ± 0,05	46,30 ± 5,40	49,33 ± 6,52	0,73 ± 0,05	0,08 ± 0,01
48	0,52 ± 0,30	-0,68 ± 0,17	0,97 ± 0,00	28,10 ± 4,33	28,98 ± 4,49	0,67 ± 0,02	0,07 ± 0,01

1: Dureza (N); **2:** Adesividade (N.s); **3:** Elasticidade (mm); **4:** Mastigabilidade; **5:** Gomosidade; **6:** Coesividade; **7:** Resiliência