

PROTEÍNAS

Classificação, estrutura e propriedades

As proteínas fornecem uma variada gama de funcionalidades em formulações alimentícias, sendo utilizadas em uma ampla gama de aplicações.

AS PROTEÍNAS ALIMENTÍCIAS

Os alimentos proteicos são amplamente utilizados e manipulados na indústria alimentícia porque possuem alto valor nutricional e propriedades importantes, que são amplamente utilizadas em processos industriais; esses alimentos são isolados e utilizados como aditivos em outros alimentos.

Quimicamente, as proteínas são polímeros de alto peso molecular (acima de 10.000), cujas unidades básicas são os aminoácidos, ligados entre si por ligações peptídicas. As propriedades de uma proteína são determinadas pelo número e espécie dos resíduos de aminoácidos, bem como pela sequência desses compostos na molécula. Todas as proteínas são constituídas de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e enxofre e possuem composição muito semelhante: 50% a 55% de carbono, 6% a 8% de hidrogênio, 20% a 24% de oxigênio, 15% a 18% de nitrogênio e 2% a 0,3% de enxofre.

A qualidade de uma proteína é medida pelo número de aminoácidos essenciais fornecidos ao organismo, ou seja, quanto mais aminoácidos essenciais apresenta, maior é o seu valor biológico.

O valor biológico é definido como a proporção em que se encontra um aminoácido essencial limitante, no que diz respeito ao padrão de referência. Por definição, deve entender-se como aminoácido limitante aquele em que o déficit é maior comparado com a proteína de referência, ou seja, aquele que, uma vez realizado o cálculo, resulta em um valor mais baixo. A proteína de referência é uma proteína teórica, definida pela FAO, a qual possui a composição adequada para atender corretamente as necessidades proteicas. As proteínas de referência são fixadas dependendo da idade, já que as necessidades de aminoácidos essenciais são diferentes

em diferentes fases do crescimento e desenvolvimento humano.

Atualmente, é conhecida uma infinidade de proteínas, as quais foram isoladas, purificadas e estudadas. A maioria varia entre 5.000 a vários milhões de daltons em peso.

Embora as proteínas variem muito em peso molecular e forma, a maioria desses compostos, nos líquidos existentes no organismo, possuem peso molecular da mesma ordem de grandeza e suas formas não se desviam muito da forma de uma esfera ou de um elipsóide. Para que uma molécula de proteína adquira e mantenha essas formas, são necessárias várias e complexas interligações.

Quatro tipos de estrutura devem ser considerados para a definição da estrutura das proteínas: estrutura primária, secundária, terciária e quaternária.

A estrutura primária de uma proteína se refere apenas a sequência dos aminoácidos na sua cadeia peptídica, sem levar em consideração outros tipos de ligações, como interações causadas por forças de Van der Waals ou ligações de hidrogênio. Nessas cadeias, o aminoácido correspondente ao terminal nitrogenado, ou seja, o aminoácido contendo o grupo amínico ou imínico livre, denominado N-aminoácido, e o aminoácido correspondente ao terminal com o grupo carboxila livre, denominado C-aminoácido. Algumas proteínas são constituídas por mais de



Proteína do Trigo

uma cadeia peptídica unidas por ligações dissulfídicas.

A estrutura primária é a única que pode ser determinada por meio de reações químicas, mas as dificuldades apresentadas por essas reações fizeram com que, até hoje, apenas algumas proteínas tivessem as suas estruturas primárias completamente elucidadas. Da sequência de aminoácidos, que é única para as proteínas, dependem as outras estruturas. Os aminoácidos que compõem a cadeia peptídica podem ser facilmente identificados pela hidrólise total da proteína e separação dos produtos resultantes, o que, no entanto, não oferece qualquer indício da ordem em que esses aminoácidos se situam na cadeia.

O passo inicial para a determinação dessa sequência é a identificação do aminoácido correspondente ao terminal nitrogenado ou ao terminal carboxilado. Para a identificação dos N-aminoácidos, usualmente são empregados métodos de alquilação.

Para a identificação do C-aminoácido da cadeia peptídica vários métodos podem ser empregados, entre eles, a redução do grupo carboxílico terminal a grupo hidroxílico, seguido de hidrólise.

A estrutura secundária é representada por cadeias peptídicas torcidas, dobradas ou enroladas sobre si mesmas, podendo adquirir várias conformações. Entre estas conformações, as de menor energia livre e, por



tanto, as mais estáveis, são aquelas nas quais todos os grupos $-NH$ das ligações peptídicas estão unidos aos grupos $-C=O$ por ligações de hidrogênio, o que leva à formação de duas organizações para as quais são propostas duas estruturas: uma semelhante a uma folha de papel pregueada, estabilizada por ligações de hidrogênio intermoleculares; e a organização α -hélices, na qual as cadeias peptídicas formam hélices contendo em cada volta de três a cinco unidades de aminoácidos, sendo estabilizadas por ligações de hidrogênio intramoleculares. As α -hélices podem estar voltadas para a esquerda ou para a direita e as cadeias dos resíduos de aminoácidos são projetadas para fora, em direção perpendicular ao eixo da hélice, formando uma estrutura histericamente mais desimpedida e, portanto, mais estável.

A estrutura terciária se refere a posteriores dobras e enrolamentos que as cadeias peptídicas sofrem, resultando em uma estrutura complexa e mais compacta para as proteínas. A estabilização dessa estrutura é atribuída a ligações covalentes, como por exemplo, ligações $-S-S-$ em proteínas ricas em aminoácidos contendo enxofre e, inclusive, em ligações eletrovalentes causadas pela atração que as cadeias laterais carregadas positiva e negativamente exercem entre si.

Contudo, nem sempre existem condições para que determinada dobra ou volta de uma cadeia peptídica seja atribuída a sua estrutura secundária ou terciária, razão pela qual é mais conveniente o emprego dos termos sequência da cadeia, para a estrutura primária, e conformação da cadeia, para as estruturas secundárias e terciárias em conjunto. A conformação da cadeia de uma proteína é determinada única e exclusivamente pela sua estrutura primária.

A estrutura quaternária se refere a duas ou mais cadeias peptídicas associadas para formar uma proteína natural, envolvendo as mesmas ligações das estruturas secundárias



e terciárias, com exceção das ligações covalentes.

A conformação tridimensional das proteínas não é alterada em meio aquoso ou em soluções diluídas de sais, propriedade muito importante, uma vez que as reações biológicas das proteínas se dão nesses meios. A estrutura quaternária surge apenas nas proteínas oligoméricas.

A formação da estrutura quaternária é principalmente devido as superfícies hidrofóbicas das proteínas.

As proteínas estão presentes na maioria dos alimentos processados e naturais. Contudo, nem todos os alimentos possuem um valor proteico aceitável, ou seja, algumas proteínas apresentam ausência de aminoácidos essenciais ou a proporção da proteína no alimento está abaixo do mínimo aceitável. Isso não significa que esses alimentos não sejam importantes; pelo contrário, indica que é possível combinar determinados alimentos para se atingir a necessidade humana necessária. E é nesse sentido que a indústria de alimentos se baseou para desenvolver seus produtos. Obviamente, para se chegar a esse nível vários estudos foram realizados para classificar e agrupar os alimentos, bem como para se chegar a conclusão de que as proteínas possuem uma extraordinária diversidade de funções.

OS PRINCIPAIS GRUPOS

As proteínas são classificadas em três grupos principais: proteínas simples, conjugadas e derivadas, sendo que na natureza são encontrados apenas os dois primeiros grupos.

As proteínas simples ou homoproteínas são constituídas exclusivamente por aminoácidos, ou seja, fornecem exclusivamente uma mistura de aminoácidos por hidrólise. São as proteínas que sofreram transformações enzimáticas nas células.

Várias classificações têm sido propostas para as proteínas das quais a menos comumente empregada é baseada na solubilidade desses compostos em diferentes solventes. Embora essa classificação seja mais ou menos artificial e de valor limitado, devido ao fato de que algumas proteínas de estruturas diferentes são solúveis no mesmo solvente, enquanto outras de estruturas semelhantes têm solubilidades diferentes, essa classificação é até hoje a mais empregada.

As proteínas mais insolúveis são as escleroproteínas, que possuem estrutura fibrosa, sendo formadas por cadeias de aminoácidos paralelas umas às outras e mantidas unidas por ligações de hidrogênio e ligações covalentes. Pertencem a essa classe a queratina, que é a proteína insolúvel de alguns tecidos epiteliais, e o co-

lágno, que é a proteína encontrada nos tecidos conectivos.

O número de proteínas fibrosas conhecidas é muito pequeno em comparação às proteínas globulares, cuja estrutura se assemelha mais a uma esfera ou a um elipsóide, e que podem ser solúveis em água, em soluções de sais neutros ou, ainda, em soluções ácidas e alcalinas, e que participam de todas as reações biológicas, as quais necessitam mobilidade e, portanto, solubilidade.

As proteínas simples são classificadas, de acordo com a sua solubilidade, em albuminas, globulinas, glutelinas, prolaminas, protaminas, histonas e esclero proteínas.

As globulinas são praticamente insolúveis em água, mas solúveis em soluções de sais neutros. Precipitam em soluções 50% saturadas de sulfato de amônio. Exemplos de globulina são o músculo (miosina) e a ervilha (legumina).

As glutelinas são proteínas encontradas somente nos vegetais. São insolúveis em água e solventes neutros, mas solúveis em soluções diluídas de ácidos e bases. Exemplos de glutelinas incluem o trigo (glutena) e o arroz.

As prolaminas, também encontradas somente em vegetais, são proteínas insolúveis em água e etanol absoluto, mas solúveis em etanol

nucleico, no esperma de peixes, como por exemplo, salmão, sardinha e arenque.

As histonas são também proteínas de baixo peso molecular e caráter básico, porém menos básico do que as protaminas, porque contêm somente de 10% a 30% de arginina na molécula. São encontradas em animais e, aparentemente, apenas nos núcleos celulares, onde se encontram ligadas a ácidos nucleicos. São solúveis em água e soluções diluídas de ácidos e bases. Podem ser precipitadas pela adição de amônia em pH de aproximadamente 8,5. As histonas melhor estudadas são as extraídas da glândula timo da vitela.

As esclero proteínas são as proteínas que devido aos seu alto grau de insolubilidade foram definidas inicialmente como as proteínas insolúveis das células e tecidos. São proteínas de estrutura fibrosa. Pertencem a essa classe a queratina, que é uma proteína insolúvel da pele e cabelos, e o colágeno, que é uma proteína existente nos tecidos conectivos (tendões e ligamentos).

As proteínas conjugadas são as que por hidrólise liberam aminoácidos mais um radical não peptídico, denominado grupo prostético, o qual pode ser orgânico, como por exemplo, uma vitamina ou um açúcar, ou inorgânico, como por exemplo, um íon metálico, encontrando-se ligados de forma firme à cadeia polipeptídica, muitas vezes através de ligações covalentes.

Uma proteína despojada do seu grupo prostético é uma apoproteína; a proteína com grupo prostético é designada como holoproteína.

Os grupos prostéticos são um subgrupo de cofatores que encontram-se ligados de forma permanente à proteína. Os inorgânicos são normalmente, mas não exclusivamente, íons de metais de transição, incluindo o ferro, o zinco, o magnésio e o molibdênio.

Na maioria das proteínas conjugadas, a relação proteína-grupo prostético é de 1:1, com exceção das fosfoproteínas, as quais podem conter vários radicais de ácidos

As albuminas apresentam como principal propriedade que as distingue de todas as outras proteínas a sua solubilidade em água, sendo também solúveis em soluções fracamente ácidas ou alcalinas e em soluções 50% saturadas de sulfato de amônio; coagulam pela ação do calor. Exemplos de albumina incluem a clara do ovo (ovalbumina), o leite (lactalbumina) e ervilhas (legumitina).

entre 50% e 80%. Entre os exemplos de prolaminas estão o trigo e o centeio (gliadina), o milho (seína) e a cevada (hordeína).

As protaminas são proteínas de baixo peso molecular, constituídas por aproximadamente 80% de arginina e, portanto, fortemente alcalinas. São solúveis em água e em amônia, sendo que em soluções fortemente ácidas formam sais estáveis. São encontradas combinadas com ácido



fosfóricos esterificados às hidroxilas existentes na molécula. As duas frações da molécula de uma proteína conjugada podem ser facilmente separadas por hidrólise branda, sem que a parte proteica sofra modificações. Possuem em comum a grande estabilidade da fração proteica da molécula em relação a agentes desnaturantes, propriedade essa que desaparece com a separação das duas frações.

As proteínas conjugadas são classificadas de acordo com a natureza da parte não proteica em cromoproteínas, com núcleo prostético constituído de um pigmento, como clorofila, riboflavina, carotenóides, pigmentos biliares e heme, sendo que este último constitui o grupo prostético da hemoglobina e da mioglobina; lipoproteínas, cujo grupo prostético é constituído por um lipídio, como lecitina ou colesterol, formando complexos; nucleoproteínas, que são combinadas com ácidos nucleicos, que são polímeros contendo carboidratos, ácido fosfórico e bases nitrogenadas, sendo que algumas delas são, sem dúvida, as proteínas conjugadas mais importantes, devido a função de transmitirem informações genéticas; glicoproteínas ou mucoproteínas, que são ligadas a carboidratos, podendo ser polissacarídeos de estrutura simples, ou várias unidades de oligossacarídeos; fosfoproteínas, que são combinadas com ácido fosfórico e podem conter vários radicais de ácido fosfórico esterificados às hidroxilas da proteína; e metaloproteínas, que são complexos formados pela combinação de proteínas com metais pesados, os quais se encontram fracamente ligado à proteína e podem ser facilmente separados por adição de ácidos minerais diluídos.

Por fim, as proteínas derivadas são compostos não encontrados na natureza, mas obtidos por degradação mais ou menos intensa (proteólise) de proteínas simples ou conjugadas pela ação de ácidos, bases ou enzimas. A extensão de proteólise pode ser observada pelo aumento do número de grupos carboxílicos

e amínicos existentes inicialmente na proteína. As propriedades físicas das proteínas derivadas também são modificadas, havendo diminuição da viscosidade inicial e perda da propriedade de serem coaguladas pelo calor.

De acordo com o peso molecular, as proteínas derivadas podem ser classificadas em primárias e secundárias.

As primárias são derivadas de proteínas formadas a partir de processos brandos de decomposição que causam mudanças nas suas propriedades. Nesse processo, a cisão hidrolítica das cadeias peptídicas é muito pequena, ou mesmo, pode não ocorrer como acontece no caso das proteínas desnaturadas. Quando há cisão das cadeias peptídicas, dependendo do grau de modificação da molécula, há formação de proteanas e metaproteínas.

Nas secundárias, a posterior clivagem da cadeia peptídica causa a formação de uma mistura complexa de moléculas de diferentes tamanhos, com diferentes composições em aminoácidos e, portanto, diferentes propriedades, que podem ser classificadas em proteoses, peptonas e peptídeos; finalmente, a cisão total das cadeias peptídicas leva a formação dos aminoácidos livres.

AS PROPRIEDADES FÍSICAS

Sendo macromoléculas de estruturas extremamente complexas, as proteínas são compostos sem odor e sem sabor.

Os métodos geralmente empregados para a determinação de peso molecular de compostos orgânicos (abaixamento do ponto de congelamento, aumento do ponto de fusão, ou ainda, diminuição da pressão de vapor do solvente) não podem ser empregados para as proteínas, devido ao alto peso molecular desses compostos. Existem, no entanto, vários métodos para a determinação do peso molecular desses compostos, sendo bastante empregado o método baseado na ultracentrifugação.

A solubilidade das proteínas depende do número de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos e da distribuição desses grupos na molécula. Essa propriedade varia entre limites muito amplos e o comportamento das proteínas com relação a diferentes solventes; é um dos critérios empregados para a classificação das proteínas simples.

Várias proteínas, principalmente as de origem vegetal, são obtidas na forma cristalina. Já entre as de origem animal, as hemoglobinas são as mais facilmente cristalizáveis.

As proteínas possuem também caráter anfótero, uma vez que são compostos com grande número de cargas positivas e negativas, provenientes dos grupos amínicos e carboxílicos livres dos resíduos de aminoácidos carregados positivamente ou negativamente.

Devido ao grande número de grupos que podem interagir reversivelmente com prótons, em um intervalo grande de pH, soluções de proteínas têm excelente ação tamponante. Em determinado pH, como no caso dos aminoácidos específicos para cada proteína, as cargas positivas e negativas se igualam, formando um “Zwitterion” (composto químico eletricamente neutro, mas que possui cargas opostas em diferentes átomos) polivalente; é o ponto isoelétrico das proteínas. Nesse ponto, a solubilidade em água, a viscosidade e a capacidade de intumescimento das proteínas atingem o mínimo.

Em solução, os grupos de cargas opostas das proteínas interagem entre si, formando ligações eletrovalentes, tanto no interior da molécula, como entre moléculas adjacentes. Essa interação diminui quando o solvente é a água, fenômeno causado pela alta constante dielétrica da água. As moléculas de água se combinam com os grupos polares das proteínas e a sua solubilidade tende a aumentar. No ponto isoelétrico, o número de cargas positivas se iguala ao número de cargas negativas, aumentando o número dessas interações e dimi-



nuindo a solubilidade das proteínas. A adição de pequenas quantidades de sais, como por exemplo NaCl, aumenta a solubilidade, fazendo com que as proteínas insolúveis em água se solubilizem. Esse fenômeno é geralmente denominado dissolução por sais (*salting in*) e é causado pelas forças de atração entre os íons de proteínas e os íons de sal. Quando grandes quantidades de um sal solúvel em água são adicionadas às soluções de proteínas, ocorre o fenômeno inverso, ou seja, há diminuição da atividade da água, diminuindo a interação entre a água e os grupos polares da proteína, diminuindo, assim, a sua solubilidade, sendo a proteína, então, precipitada; esse fenômeno é denominado de precipitação por sais (*salting out*).

Quando em solução, as proteínas podem se combinar com íons positivos e negativos, formando precipitados, sendo essa reação empregada na obtenção de proteínas

de uma solução.

Os íons positivos se combinam com as proteínas na forma de íons negativos, ou seja, em meio alcalino, com formação de precipitado de proteinato metálico, do qual a proteína pode ser obtida na forma livre pela adição de ácidos. No caso contrário, íons negativos se combinam com proteínas em soluções ácidas, nas quais as proteínas se encontram na forma de íons positivos, formando sais de proteína, nos quais as proteínas são facilmente obtidas na forma livre por adição de álcalis.

Em muitos alimentos existem misturas de proteínas que se encontram em pH diferente do seu ponto isoelétrico e, nessas condições, existe a possibilidade desses compostos se ligarem a cátions existentes no meio, com formação de precipitados.

Quando soluções de proteínas em meio fortemente alcalino são tratadas com soluções diluídas de íons cúpricos, há o aparecimento

de cor característica, que varia de rosa a púrpura. Aparentemente, a cor é devida ao complexo formado pelos íons de cobre e o nitrogênio das ligações peptídicas.

Uma das propriedades mais importantes das proteínas é a facilidade com que esses compostos se combinam com água, uma vez que todas as reações biológicas se processam em meio aquoso. A reação de hidratação das proteínas se deve às propriedades das moléculas de água e consiste na formação de uma ligação entre os dipolos da água e íons ou grupos iônicos e polares das proteínas, formando complexos estáveis, dependendo do composto, e modificando as suas propriedades físico-químicas.

A quantidade de água que se liga a uma proteína depende principalmente da relação proteína/água. Como as moléculas de água de hidratação ainda possuem, no mínimo, mais um par de elétrons livres, podem facilmente se ligar a



outras moléculas de água, formando várias camadas ao redor da proteína.

Quando carboidratos, alcoóis, eletrólitos e outras substâncias capazes de sofrer hidratação são adicionadas à solução de proteínas, pode haver competição pelas moléculas de água, com diminuição do grau de hidratação destes compostos.

A viscosidade das soluções de proteínas varia muito, dependendo da concentração das soluções e da estrutura molecular da proteína.

Soluções de gelatina são extremamente viscosas, enquanto que as proteínas do soro formam soluções de viscosidade muito baixas, mesmo em concentrações muito altas. O aumento de viscosidade é causado principalmente pela interação eletrostática entre diferentes moléculas de proteínas e pela interação entre as cadeias peptídicas de uma mesma molécula.

As soluções de proteínas de moléculas longas possuem viscosidade maior do que soluções de proteínas globulares. As proteínas de mesma conformação geram soluções mais viscosas, quanto maior for o tamanho das moléculas.

As proteínas sofrem desnaturação, processo que consiste na quebra das estruturas secundária e terciária da proteína. Quando submetidas a aquecimento, agitação, radiações ultravioleta e raios X, sofrem mudanças nas suas propriedades, sendo destruídas principalmente as suas propriedades fisiológicas. Essas mudanças podem ser causadas também por agentes químicos, como ácidos e bases fortes, alguns solventes orgânicos, determinados compostos orgânicos neutros e metais pesados, que não afetam a sequência dos aminoácidos, mas causam transformações na molécula, tendo como consequências

a insolubilização das proteínas e a dificuldade de cristalização desses compostos. As proteínas com ação enzimática são inativadas quando submetidas a esses processos ou a ação desses agentes.

As proteínas assim modificadas são denominadas de proteínas desnaturadas e o fenômeno é denominado de desnaturação das proteínas.

Aparentemente, a desnaturação tem como resultado uma mudança na conformação, rompendo ligações que estabilizam essa conformação, causando desenrolamento das cadeias peptídicas e, conseqüentemente, tornando-se menos solúveis e quimicamente mais reativas. As proteínas nativas solúveis em sais no seu ponto isoelétrico se tornam insolúveis quando desnaturadas. O fenômeno da desnaturação não implica necessariamente na diminuição da digestibilidade das proteínas.

As estruturas secundárias e terciárias das proteínas são estabilizadas por ligações de hidrogênio, ligações covalentes e, ainda, por ligações eletrovalentes entre grupos carboxílicos e amínicos livres. Quando ácidos minerais são adicionados a uma solução de proteínas, os íons $-COO^-$ são convertidos em $-COOH$, deixando os grupos $-NH_3^+$ inalterados. Quando ocorre o contrário, bases fortes convertem os íons $-NH_3^+$ em grupos $-NH_2$, enquanto os íons $-COO^-$ permanecem com cargas. Desse modo os grupos de cargas contrárias, que antes contribuíam para a estabilização da conformação das proteínas, desaparecem e os grupos de mesma carga se repelem, causando o desenrolamento da cadeia peptídica. O calor não muda a carga das proteínas, mas rompe as ligações de hidrogênio que estabilizam a sua conformação, causando também o desenrolamento da cadeia e, conseqüentemente, a desnaturação. A insolubilidade das proteínas tratadas pelo calor pode também ser atribuída a uma mudança nas ligações $-S-S-$; algumas

dessas ligações podem se romper pela ação do calor e se recombinar com resíduos diferentes formados pela cisão de outras ligações –S-S–.

A composição dos aminoácidos de uma proteína afeta a sua estabilidade térmica. Se houver maior proporção de aminoácidos hidrofóbicos, a proteína tende a ser mais estável do que as mais hidrofílicas.

Dependendo das condições, as proteínas podem ter diferentes estados de desnaturação, com graus de energia livre ligeiramente diferentes.

Em alguns casos, se no início do processo de desnaturação o agente desnaturante for retirado, é possível que a proteína reverta ao estado natural. Por exemplo, existe um equilíbrio entre hemoglobina natural e a hemoglobina desnaturada em solução de salicilato, cujo ponto de equilíbrio depende da concentração de sal. Outro exemplo é a tripsina que, quando aquecida entre 70°C e 100°C em soluções ácidas por curto período de tempo, se torna insolúvel em soluções de sais e perde a sua atividade proteolítica. Se a solução ácida for resfriada em determinadas condições, a proteína pode readquirir a solubilidade e a atividade enzimática originais.

O desenrolamento das cadeias peptídicas causado pela desnaturação torna essas cadeias mais esticadas, o que causa aumento da viscosidade das proteínas e modificações nas suas propriedades químicas. O número de grupos reativos aumenta com a desnaturação, sendo esse aumento causado pelo rompimento das ligações de coordenação antes existentes e, também, porque com o desenrolamento da cadeia alguns grupos reativos, antes inacessíveis, se tornam mais expostos e, portanto, fáceis de serem atacados por reagentes químicos.

Geralmente, a desnaturação causa insolubilização das proteínas e, no caso dos alimentos, pode causar também a perda de algumas propriedades funcionais; no entanto, em alguns casos, a desnaturação é desejável.

APLICAÇÃO INDUSTRIAL

As proteínas fornecem uma variedade de funcionalidades nas formulações de alimentos, incluindo gelificação, emulsificação, aeração, viscosidade e textura. Atualmente, podem ser encontradas duas grandes fontes de matérias-primas para a produção industrial de proteínas: as de origem vegetal, onde a soja ocupa posição de destaque; e as de origem animal, sendo o leite, especificamente do soro e da caseína, os mais utilizados.

A soja é a maior fonte de proteína de origem vegetal. A proteína de soja é um excelente emulsionante e formador de filme, além de possuir propriedades gelificantes favoráveis em muitas aplicações. É usada como ingrediente funcional ou nutricional em uma variedade de alimentos, como fórmulas infantis, sopas, análogos de carne, queijos, saladas, sobremesas congeladas, assados, cereais matinais e massas.

Seja devido ao seu aporte e qualidade proteica, bem como a sua funcionalidade, as proteínas de soja são geralmente classificadas como texturizadas, concentradas e isoladas.

As proteínas texturizadas de soja são preparadas através de processo de extrusão, a partir de farinha de soja desengordurada. São usadas como extensores de carne, especial-

mente em recheios e carnes moídas, também conhecidas como "carne vegetal", apresentando-se na forma de pó granular, tendo cor natural ou caramelo.

As proteínas concentradas de soja são obtidas através de processo de solubilização e extração de

proteínas do farelo de soja desengordurado. São usadas para texturizar e emulsionar uma ampla variedade de sistemas cárneos, formando emulsões tecnicamente estáveis e de consistência firme. São apresentadas na forma de pó, granulados ou flocos, de acordo com cada tipo de uso.

As proteínas isoladas de soja também são obtidas através de processo de solubilização e extração de fibra, com subsequente precipitação para alcançar maior funcionalidade e concentração proteica. São usadas para melhorar a textura dos produtos cárneos, bem como para aumentar o teor de proteína, melhorar a retenção de umidade e como emulsionante.

A proteína do trigo é a segunda proteína de origem vegetal mais utilizada. Possui propriedades de baixa solubilidade em água, formação de espuma, emulsificação, excelente visco elasticidade, propriedades térmicas de endurecimento e retenção de água, além de apresentar bom perfil de sabor.

Já as proteínas lácteas são obti-



das da caseína e do soro, matérias-primas amplamente conhecidas, uma vez que são obtidas como consequência do processamento do leite.

O leite fornece proteínas de elevada qualidade e em quantidade significativa; na forma *in natura* fornece, em média, de 3g a 3,5g de proteínas por 100g de leite.

As proteínas lácteas dividem-se em várias classes de cadeias polipeptídicas. O grupo das caseínas representa cerca de 75% a 85% das proteínas lácteas. Neste grupo, consideram-se ainda vários tipos de polipeptídeos: κ s1-, κ s2-, α -, e β -, com algumas variantes genéticas, modificações pós-translacionais e produtos de proteólises. Quase todas as caseínas se encontram associadas a cálcio e fósforo, em micelas de 20 a 300 μ m de diâmetro e que refletem a luz, originando a coloração branca característica do leite.

O segundo grupo de maior importância quantitativa é o das proteínas solúveis do soro lácteo, ou proteínas do lactosoro, que constitui de 15% a 22% das proteínas totais do leite. As principais famílias de proteínas do lactosoro são as β -lactoglobulinas, as α -lactoalbuminas, as albuminas séricas e as imunoglobulinas.

As proteínas lácteas são utilizadas nos mais diversos segmentos da indústria alimentícia, sendo aplicadas principalmente como fonte de proteína e como agente emulsificante e gelificante em diversos alimentos. Ao contrário das proteínas vegetais, que possuem ampla gama de aplicações e abrangem vários sistemas alimentícios, as proteínas do leite são usadas principalmente em alimentos e bebidas lácteas.

As caseínas são particularmente ricas em lisina e, por isso, constituem um excelente suplemento para os cereais, os quais são particularmente deficientes em lisina. Podem ser adicionadas em cereais matinais, biscoitos ao leite, pães e biscoitos enriquecidos com proteínas, bem como em bolos prontos e

cookies congelados, como emulsificante e melhorador de textura. As proteínas do soro do leite apresentam também vantagens econômicas e nutricionais na substituição de ovos na fabricação de bolos.

As proteínas lácteas também são utilizadas para melhorar o conteúdo proteico de derivados lácteos convencionais e na fabricação de substitutos de produtos lácteos. Caseínas, gordura vegetal, sais e água são utilizados na fabricação de substitutos de queijo, o que resulta em significativas reduções de custos comparado à utilização de queijos naturais em produtos como pizzas, lasanhas, hambúrgueres, molhos, etc. As propriedades funcionais da caseína nessas aplicações são muito importantes, pois melhoram a textura, o derretimento, a retenção de água, etc. Em cremes/leites vegetais para café, o caseinato de sódio age como emulsificante/encapsulante de gordura e branqueador, propicia corpo e promove resistência a coagulação em café quente.

As caseínas/caseinatos, gordura vegetal e xarope de milho são os principais ingredientes na fabricação de produtos de baixo custo, substitutos ou análogos ao leite, para pessoas intolerantes à lactose.

As proteínas do soro do leite são usadas em iogurtes e queijos para melhorar o rendimento, o valor nutricional e a consistência. A viscosidade e estabilidade dos iogurtes ficam melhores substituindo sólidos do leite desnatados por concentrados proteicos do soro de leite (WPC).

Emulsões à base de proteínas de soro desnaturadas pelo calor e gordura são usadas como base proteica na formulação de *cream cheese*. Concentrados proteicos de soro são também utilizados em coberturas de queijo e *dips* (molhos consistentes), complementando o aroma de queijo e resultando em produtos mais macios.

Produtos de caseínas são muito utilizados por suas propriedades de agitação e formação de espuma

ou como estabilizantes em bebidas achocolatadas, drinques efervescentes e outros. O caseinato de sódio é usado como emulsificante e estabilizante em licores cremosos; como agente de acabamento para diminuir a cor e a adstringência; e como auxiliar de clarificação nos setores vinícolas e cervejeiros.

Os concentrados proteicos do soro de leite podem ser adicionados a sucos de frutas, refrigerantes ou bebidas à base de leite para produzir bebidas altamente nutritivas, frequentemente comercializadas como bebidas esportivas.

Os concentrados proteicos do soro de leite e/ou os isolados proteicos do soro (WPI) são adicionados a drinques aromatizados análogos ao leite para propiciar viscosidade, corpo e estabilidade coloidal; também são incorporados como suplementos proteicos em bebidas aromatizadas para atletas e em concentrados de frutas congelados.

O caseinato de sódio é empregado em substitutos de sorvete e sobremesas congeladas para melhorar as propriedades de agitação, corpo e textura, bem como agir como estabilizante; é usado por motivos similares em mousses, pudins instantâneos e coberturas batidas, onde também age como emulsificante e agente formador de filme.

As proteínas lácteas podem ser incorporadas a farinha base para produção de massas para melhorar a qualidade nutricional e a textura. O enriquecimento da farinha usada na produção de massas com proteínas lácteas não desnaturadas resulta em massas mais firmes após cozimento, mais estáveis a repetição operacional de congelamento-descongelamento e podem ser cozidas em micro-ondas.

Em produtos cárneos, as caseínas contribuem na emulsificação das gorduras, atuam como agente de ligação de água e propiciam melhor consistência. O caseinato de sódio é um aditivo comum em aplicações cárneas, embora vários outros coprecipitados proteicos também sejam utilizados. Até 20%

das proteínas da carne pode ser substituídas por proteínas do soro de leite em salsichas comuns para cachorro quente.

Os concentrados proteicos do soro de leite solúveis, de baixa viscosidade, podem ser usados na injeção de salmoura para fortificar produtos cárneos, como presunto cozido, por exemplo. A injeção de proteínas lácteas em carnes frescas e curadas aumenta o rendimento.

Sólidos de soro são incorporados em sopas desidratadas e molhos para propiciar sabor lácteo, para melhorar outros aromas e para prover efeitos emulsificantes e estabilizantes. Os caseinatos são utilizados como agentes emulsificantes e para controlar a viscosidade em sopas cremosas enlatadas. Os *blends* de caseinatos e concentrados proteicos do soro de leite são utilizados como substitutos econômicos para leite em pó desnatado em alguns alimentos de conveniência. As proteínas do soro podem substituir as gemas de ovo em molhos para saladas. Alguns produtos de proteínas de soro modificados apresentam potencial para substituir os lipídios em uma variedade de alimentos de conveniência. As proteínas do leite também são utilizadas para melhorar a textura, a estabilidade e o aroma de produtos para micro-ondas.

Em suma, as aplicações alimentícias para as proteínas lácteas e seus derivados são incontáveis. Além das aplicações acima mencionadas, ainda são quase imprescindíveis em muitos produtos texturizados e podem formar excelentes filmes protetores e coberturas. Também são extensivamente usadas em preparações dietéticas para adultos e crianças.

A carne é outra importante fonte de proteínas, sendo as localizadas no músculo as mais importantes.

Os músculos são classificados em estriados (30% a 40% de um animal) e lisos (geralmente intestinos), sendo compostos por 55% a 78% de água, 15% a 22% de proteínas, 1% a 15% de lipídios, 1% a 2% de carboidratos e aproximadamente

1% de minerais, o que significa que da matéria orgânica, 50% a 90% é proteína.

As proteínas dos músculos podem ser classificadas de acordo com a sua localização; é o caso das proteínas sarcoplasmáticas (presentes no vaso sanguíneo), das proteínas do tecido conjuntivo (perimísio, epimísio e endomísio) e das proteínas miofibrilares. Estes tipos de proteínas estão presentes em todos os tipos de carne, incluindo peixe e seus derivados; a única diferença é a proporção em que estão presentes.

De modo geral, as propriedades funcionais das proteínas proporcionam uma série de vantagens sobre a qualidade dos produtos cárneos, melhorando consideravelmente as suas propriedades sensoriais, atribuindo-lhes a capacidade de reduzir a perda de peso, melhorar a firmeza, a distribuição de proteínas e o seu sabor e aroma.

As proteínas também são ingredientes conhecidos na indústria de confeitos e doces.

Os confeitos são alimentos geralmente à base de açúcar, submetidos a processos térmicos (processo de caramelização). Esse processo leva a concentração de açúcar no xarope e produz a pasta de caramelo (massa fermentada), que ao resfriar no ambiente produz a cristalização e o endurecimento da massa.

Embora a maioria dos confeitos contenha uma proporção maior de açúcar, existe um grupo especial que contém proteínas em proporções importantes, pois influenciam as características organolépticas. Esse grupo inclui a gelatina e seus derivados, produtos que apresentam de 7% (gomas) até 95% a 97% (gelatina em pó) de proteína em sua composição.

Os ovos são alimentos ricos em proteínas de alto valor biológico, sendo amplamente empregadas na indústria de alimentos.

As proteínas do ovo são encontradas na clara - Albuminas - ovalbumina (54%), conalbumina (13%) -, ovoglobulinas (8 a 9%), ovomucóide (11%), lisozima (3,5%) - e na gema

- fosvitinas (8,5%), lipoproteínas de baixa densidade (27%), levitinas (30%) e lipovitelininas (33%).

Para prolongar a vida útil do ovo, as indústrias de ovos transformam os ovos frescos em produtos derivados do ovo, os chamados ovoprodutos. Assim, vários produtos elaborados a partir do ovo *in natura* passaram a integrar o mercado, como o ovo integral pasteurizado, clara e gema separadamente pasteurizadas, ovo integral desidratado ou claras, gemas desidratadas separadamente, ovo líquido refrigerado, congelado e em pó, com ou sem a adição de sacarose, sal ou outros componentes.

Os produtos derivados dos ovos são muito utilizados por suas características de coagulabilidade por ação do calor, capacidade formadora de espuma e ação emulsificante, além de proporcionar cor e aroma.

Para a indústria alimentícia, os ovoprodutos possuem algumas vantagens em relação ao ovo em casca: maior versatilidade, fácil emprego e dosagem, maior segurança bacteriológica, facilita a manipulação, a distribuição e o comércio internacional.

Além disso, o ovo processado mantém as características e propriedades do ovo *in natura*, apresentando uniformidade, menor espaço para armazenamento e facilidade para medir as porções na fabricação de diferentes pratos.

Os produtos derivados dos ovos são usados como produtos líquidos congelados ou desidratados na indústria de sobremesas e panificação, na confecção de massas alimentícias, maioneses, sopas em pó, margarina, creme etc.

Existe uma ampla gama de aplicações para as proteínas na indústria de alimentos, razão pela qual uma variedade de produtos foi desenvolvida a partir de matérias-primas vegetais e animais para atender a essas demandas, cumprindo as exigências de contribuição nutricional e que também participem funcionalmente em vários sistemas alimentícios.

PROTEÍNAS

Clasificación, estructura y propiedades

Los alimentos proteicos son ampliamente utilizados y manipulados en la industria alimenticia porque poseen alto valor nutricional y propiedades importantes, que son ampliamente utilizadas en procesos industriales. Químicamente, las proteínas son polímeros de alto peso molecular (por encima de 10.000), cuyas unidades básicas son los aminoácidos, unidos entre sí por enlaces peptídicos. Las propiedades de una proteína se determinan por el número y la especie de los residuos de aminoácidos, así como por la secuencia de estos compuestos en la molécula. La mayoría de las proteínas se componen de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre y tienen una composición muy similar: 50% a 55% de carbono, 6% a 8% de hidrógeno, 20% a 24% de oxígeno, 15% a 18% de nitrógeno y del 2% al 0,3% de azufre.

Cuatro tipos de estructura se deben considerar para la definición de la estructura de las proteínas: estructura primaria, que se refiere sólo a la secuencia de los aminoácidos en su cadena peptídica, sin tener en cuenta otros tipos de conexiones; secundaria, representada por cadenas peptídicas torcidas, dobladas o enrolladas sobre sí mismas, pudiendo adquirir varias conformaciones;

La terciaria que se refiere a posteriores dobleces y arrollamientos que las cadenas peptídicas sufren, resultando en una estructura compleja y más compacta para las proteínas; y cuaternaria, que se refiere a dos o más cadenas peptídicas asociadas para formar una proteína natural, involucrando las mismas conexiones de las estructuras secundarias y terciarias, con excepción de las conexiones covalentes.

Las proteínas se clasifican en tres grupos principales: proteínas simples, conjugadas y derivadas, siendo que en la naturaleza se encuentran sólo los dos primeros grupos.

Las proteínas simples o homoproteínas están constituidas exclusivamente por aminoácidos, o sea, suministran exclusivamente una mezcla de aminoácidos por hidrólisis. Se clasifican, según su solubilidad, en albúminas, globulinas, glutelinas, prolaminas, protaminas, histonas y escleroproteínas. Las proteínas conjugadas son las que por hidrólisis liberan aminoácidos más un radical no peptídico, denominado grupo prostético, el cual puede ser orgánico o inorgánico. Las proteínas conjugadas se clasifican de acuerdo con la naturaleza de la parte no proteica en cromoproteínas, con núcleo prostético constituido por un pigmento, como clorofila, riboflavina, carotenoides, pigmentos biliares y heme, siendo este último constituye del grupo prostético de la hemoglobina y de la mioglobina; lipoproteínas, cuyo grupo prostético está constituido por

un lípido, como lecitina o colesterol, formando complejos; nucleoproteínas, que son combinadas con ácidos nucleicos, que son polímeros que contienen carbohidratos, ácido fosfórico y bases nitrogenadas, algunas de las cuales son, sin duda, las proteínas conjugadas más importantes, debido a la función de transmitir información genética; glucoproteínas o mucoproteínas, que están ligadas a carbohidratos, pudiendo ser polisacáridos de estructura simple, o varias unidades de oligosacáridos; fosfoproteínas, que se combinan con ácido fosfórico y pueden contener varios radicales de ácido fosfórico esterificados a las hidroxilas de la proteína; y metaloproteínas, que son complejos formados por la combinación de proteínas con metales pesados, los cuales se encuentran débilmente ligados a la proteína y

pueden ser fácilmente separados por adición de ácidos minerales diluidos.

Las proteínas derivadas son compuestos no encontrados en la naturaleza, pero obtenidos por degradación más o menos intensa (proteólisis) de proteínas simples o conjugadas por la acción de ácidos, bases o enzimas. De acuerdo con el peso molecular, las proteínas derivadas pueden ser clasificadas en primarias y secundarias. Siendo macromoléculas de estructuras extremadamente complejas, las proteínas se comprimen sin olor y sin sabor.

Una de las propiedades más importantes de las proteínas es la facilidad con que estos compuestos se combinan con agua, ya que todas las reacciones biológicas se procesan en medio acuoso. La reacción de hidratación de las proteínas se debe a las propiedades de las moléculas de agua y consiste en la formación de una unión entre los dipolos del agua y los iones o grupos iónicos y polares de las proteínas, formando complejos estables, dependo del compuesto, y modificando sus propiedades fisicoquímicas.

La viscosidad de las soluciones de proteínas varía mucho, dependiendo de la concentración de las soluciones y de la estructura molecular de la proteína.

Las proteínas sufren desnaturalización, proceso que consiste en la ruptura de las estructuras secundaria y terciaria de la proteína. Cuando se somete a calentamiento, agitación, radiaciones ultravioleta y rayos X, sufren cambios en sus propiedades, siendo destruidas principalmente sus propiedades fisiológicas.

Las proteínas proveen una variedad de funcionalidades en las formulaciones de alimentos, incluyendo gelificación, emulsificación, aireación, viscosidad y textura. Actualmente, se pueden encontrar dos grandes fuentes de materias primas para la producción industrial de proteínas: las de origen vegetal, donde la soja

ocupa posición de destaque; y las de origen animal, siendo la leche, específicamente del suero y de la caseína, los más utilizados.

La proteína de soja es un excelente emulsionante y formador de película, además posee propiedades gelificantes favorables en muchas aplicaciones.

Se utiliza como ingrediente funcional o nutricional en una variedad de alimentos, como fórmulas infantiles, sopas, análogos de carne, quesos, ensaladas, postres congelados, asados, cereales matinal y masas.

Debido a su aporte y calidad proteica, así como su funcionalidad, las proteínas de soja son generalmente clasificadas como texturizadas, concentradas y aisladas.

La proteína del trigo es la segunda proteína de origen vegetal más utilizada. Tiene propiedades de baja solubilidad en agua, formación de espuma, emulsión, excelente viscoelasticidad, propiedades térmicas de endurecimiento y retención de agua, además de presentar buen perfil de sabor.

Las proteínas lácteas se obtienen de la caseína y del suero, materias primas ampliamente conocidas, ya que se obtienen como consecuencia del procesamiento de la leche. Las aplicaciones alimenticias para las proteínas lácteas y sus derivados son incontables, siendo casi imprescindibles en muchos productos texturizados y pueden formar excelentes películas protectoras y coberturas.

La carne es otra importante fuente de proteínas, siendo las localizadas en el músculo más importantes. En general, las propiedades funcional de las proteínas proporcionan una serie de ventajas sobre la calidad de los productos cárnicos, mejorando considerablemente sus propiedades sensoriales, asignándoles la capacidad de reducir la pérdida de peso, mejorar la firmeza, la distribución de proteínas y su sabor y aroma.

Las proteínas también son in-

gredientes conocidos en la industria de confiterías y dulces. Aunque la mayoría de los confites contienen una proporción mayor de azúcar, existe un grupo especial que contiene proteínas en proporciones importantes, ya que influyen en las características organolépticas. Este grupo incluye la gelatina y sus derivados, productos que presentan del 7% (gomas) hasta el 95% al 97% (gelatina en polvo) de proteína en su composición.

Los huevos son alimentos ricos en proteínas de alto valor biológico, y los ovoproductos, es decir, productos derivados del huevo, son ampliamente utilizados en la industria de alimentos por sus características de coagulabilidad por acción del calor, capacidad formadora de espuma y acción emulsificante, además de proporcionar color y aroma. El huevo procesado mantiene las características y propiedades del huevo *in natura*, presentando uniformidad, menor espacio para almacenamiento y facilidad para medir las porciones en la fabricación de diferentes platos.

Los productos derivados de los huevos se utilizan como productos líquidos congelados o deshidratados en la industria de postres y panificación, en la confección de masas alimenticias, mayonesas, sopas en polvo, margarina, crema, etc.

Hay una amplia gama de aplicaciones para las proteínas en la industria de alimentos, por lo que una variedad de productos se ha desarrollado a partir de materias primas vegetales y animales para satisfacer estas demandas, cumpliendo las exigencias de contribución nutricional y que también participan funcionalmente en varios sistemas alimenticios.