MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES ESPUMANTES EM SISTEMAS HÍBRIDOS FORMADOS POR CASEÍNA E PROTEÍNA DE ERVILHA COMERCIAL E MODIFICADA

MODIFICATION OF FOAMING PROPERTIES IN HYBRID SYSTEMS FORMED BY CASEIN AND COMMERCIAL OR MODIFIED PEA PROTEIN

Lucas Silva de Sousa[1] Laura Destro Rodrigues [1] Gustavo Schäfer Nogueira [1] Rodrigo Lima da Silva [1] Raiane Rodrigues da Silva [12] Antônio Fernandes de Carvalho [1]

[1]Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, Brasil.

[2]Instituto Estatal de Pesquisa Centro de Ciências Físicas e Tecnologia. Vilnius, Lituânia.

Resumo

Sistemas proteicos mistos compostos por fontes alternativas de proteína representam uma estratégia promissora para um futuro alimentar mais sustentável. Compreender os impactos da substituição parcial de proteínas convencionais sobre as propriedades tecnológicas desses sistemas, é fundamental para o desenvolvimento de novos produtos. Neste estudo, investigou-se a combinação entre caseína micelar (CAS) e isolado proteico de ervilha (PPI), em suas formas nativa e modificada (MPI), testadas em diferentes proporções (0:100, 25:75, 50:50, 75:25 e 100:0). Foram avaliadas a capacidade de formação de espuma, estabilidade, microestrutura e potencial Zeta. Os resultados indicam a proteina modificada aprimora a capacidade de formação de espuma dos sistemas híbridos, oferecendo informações relevantes sobre a influência da proporção e do tipo de proteína a ser combinada.

Palavras-chave espuma; ervilha; caseína.

Introdução

Até 2050, a população mundial deverá atingir a marca de 9,8 bilhões de pessoas, o que tem intensificado as preocupações com a oferta de proteínas e os riscos de insegurança alimentar em escala global (ONU, 2024). Atualmente, os sistemas convencionais de produção de proteína animal, especialmente a carne bovina, têm sido questionadas pelo elevado impacto ambiental, relacionado ao uso intensivo de água, terra e ao avanço do desmatamento e emissão de GEE (HILBORN *et al.*, 2018).

Diante desse cenário, cresce o interesse por fontes proteicas alternativas, impulsionadas por mudanças nos hábitos alimentares e uma nova visão do consumidor por produtos mais sustentáveis (TSO; LIM; FORDE, 2020). Entre as opções vegetais, a ervilha se destaca por sua composição nutricional equilibrada, baixa alergenicidade e menor impacto ambiental quando comparada às fontes proteicas convencionais (DA SILVA et al., 2025).

Contudo, o uso da proteína de ervilha ainda enfrenta limitações tecnológicas e sensoriais, associadas às alterações estruturais decorrentes do processamento comercial (BOUKID; ROSELL; CASTELLARI, 2021). Para contornar essas limitações, uma abordagem promissora tem sido o desenvolvimento de sistemas híbridos, que combinam diferentes fontes de proteínas, como as

de origem vegetal e animal, ou a modificação estrutural a partir de técnicas simples como o deslocamento de pH (HIGA; NICKERSON; NICKERSON, 2025; NASCIMENTO et al., 2025).

Entre as proteínas de origem animal, o leite destaca-se como uma matriz amplamente utilizada na indústria de alimentos e grande parte da sua funcionalidade é associada a presença de caseínas. Essas proteínas representam cerca de 80 % das proteínas do leite e podem sem encontradas na forma de estruturas coloidais formadas por proteina, água e sais minerais (DA SILVA et al., 2025). Suas propriedades físico-químicas e tecnofuncionais, como a capacidade de formar géis, emulsões e espumas, são amplamente exploradas na elaboração de molhos, sorvetes, queijos e iogurtes, contribuindo para a textura, estabilidade e qualidade sensorial dos alimentos (KINSELLA, 1984).

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar as propriedades espumantes de sistemas proteicos híbridos, formados por caseína e proteína de ervilha, considerando o efeito de diferentes proporções entre caseína e proteina de ervilha comercial ou modificada por deslocamento de pH.

Materiais e métodos

Isolado proteico de ervilha - NUTRALYS® F85F (Roquette, Lestrem - França) contendo 83,0 % de proteínas e 5,0 % de minerais, e isolado de caseína micelar – Lacprodan® Micelpure (Arla Food Ingredients, Århus – Dinamarca) 86,5 % de proteina foram utilizados como matéria prima. As suspensões foram preparadas em água destilada com adição de 0,03% de azida de sódio e mantidas em agitação por 12 h. O isolado proteico de ervilha foi submetido à modificação por deslocamento de pH alcalino (pH 12) e mantido nessa condição por 24 h. Após este procedimento, o pH foi reajustado para a neutralidade (pH 7) mantendo a concentração final de 2,5 % de proteina para todos os tratamentos. A partir disso, foram preparadas formulações com diferentes proporções de caseína (CAS) combinadas com o isolado de ervilha não modificado (PPI) ou isolado proteico de ervilha modificado (MPI), além dos respectivos controles para cada proteina, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1: Composição dos sistemas proteicos.

Sistema	Composição (%)
CAS	100
PPI	100
MPI	100
Mistura CAS:PPI	25:75
	50:50
	75:25
Mistura CAS:MPI	25:75
	50:50
	75:25

Após o preparo, 250 mL da suspensão foi homogeneizada em um Ultra-Turrax (modelo T25, IKA) a 10000 rpm por 2 min. As misturas foram transferidas para provetas e deixada em repouso por 5 min, para formação da interface. A altura inicial da espuma foi registrada (V_1), e as amostras foram mantidas a 25 °C. A altura do líquido foi medida novamente após 30 minutos (V_2). A capacidade de formação de espuma (CFE) e a estabilidade da espuma (EE) foram calculadas conforme as Equações 1 e 2.

$$CFE\ (\%) = \frac{V_1 - V_0}{V_0} * 100 \qquad \text{Eq (1)}$$

$$EE\ (\%) = \frac{V_2 - V_0}{V_1 - V_0} * 100 \qquad \text{Eq (2)}$$

A espuma obtida foi caracterizada em microscópio óptico com aumento de 220x. As amostras foram preparadas conforme descrito anteriormente e transferidas para uma lâmina confocal. As imagens foram registradas no tempo 0 e após 30 min. O potencial Zeta foi determinado utilizando um Zetasizer Nano-S (Malvern Instruments, Worcestershire, Reino Unido), à temperatura de 25 °C e pH 7,0. Para minimizar os efeitos de espalhamento múltiplo, as amostras foram diluídas em água ultrapura até uma concentração final de 0,0025 %.

Resultados e discussões

A Figura 1 apresenta os resultados das propriedades espumantes dos sistemas estudados. Com o aumento de PPI de 0 a 50 %, a CFE passou de 45,8 % para 76,0 %. Acima dessa faixa, os valores decaíram, sendo o menor valor observado no sistema com 100 % de PPI. Para sistemas contendo CAS:MPI, verificou-se uma tendência semelhante entre 0 e 50 % de MPI, em menor intensidade. Contudo, a partir dessa proporção, a presença de MPI manteve os valores de CFE em um comportamento constante (62,7 %, 62,0 % e 63,6 %). Esse comportamento pode ser atribuído à modificação estrutural pelo deslocamento de pH, que relaxa a conformação da proteína e expõe regiões hidrofóbicas, melhorando sua atuação na interface ar-líquido, aumentando o volume da espuma (HIGA; NICKERSON; NICKERSON, 2025).

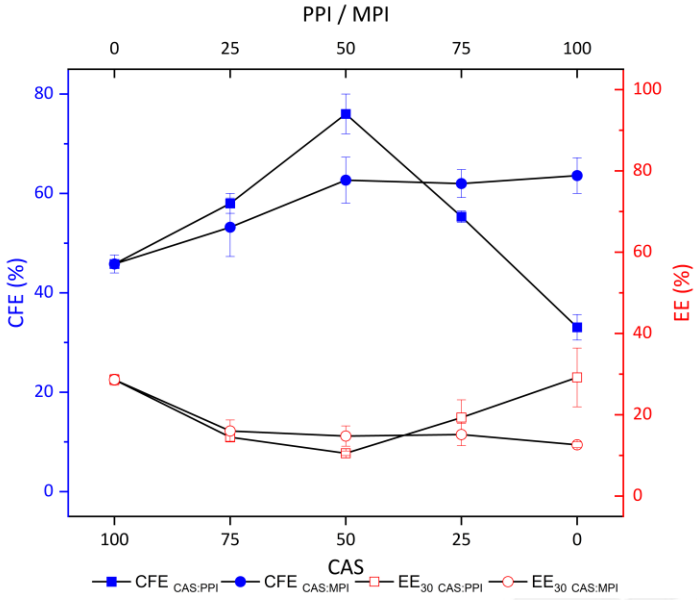


Figura 1: Capacidade de formação de espuma (CFE) e estabilidade da espuma (EE).

Além da CFE, a EE forneceu informações sobre a espuma remanescente após 30 minutos. Os sistemas apresentaram baixa estabilidade, com valores variando de 29,2 % a 10,5 % nos sistemas contendo PPI e de 28,6 % a 12,6 % nos sistemas contendo MPI. Esses valores refletem a perda de volume da espuma, resultado da desestabilização progressiva ao longo do tempo e podem ser influenciadas pela temperatura. Apesar da redução expressiva ao longo do tempo, o volume de espuma residual pode ser considerado adequado para aplicações em produtos de consumo imediato, como bebidas servidas em cafeterias.

Adicionalmente, a microestrutura das espumas é apresentada na Figura 2. O incremento da concentração de PPI promoveu o aumento do tamanho das bolhas em comparação aos sistemas com maior concentração de CAS (Figura 2a). Após 30 minutos (Figura 2b), observou-se um crescimento pronunciado no tamanho das bolhas para os sistemas contendo até 50 % de proteina vegetal (PPI ou MPI). O aumento do diâmetro das bolhas está relacionado ao processo

de desestabilização das espumas, que ocorre predominantemente por coalescência. O sistema CAS:MPI 50:50 apresentou bolhas com distribuição mais homogênea que o sistema CAS:PPI 50:50. Isso sugere que a proteína vegetal tratada (MPI) estabelece interações mais eficientes com as proteínas lácteas. Contudo, outros fatores podem estar desfavorecendo a permanência das bolhas ao longo do tempo.

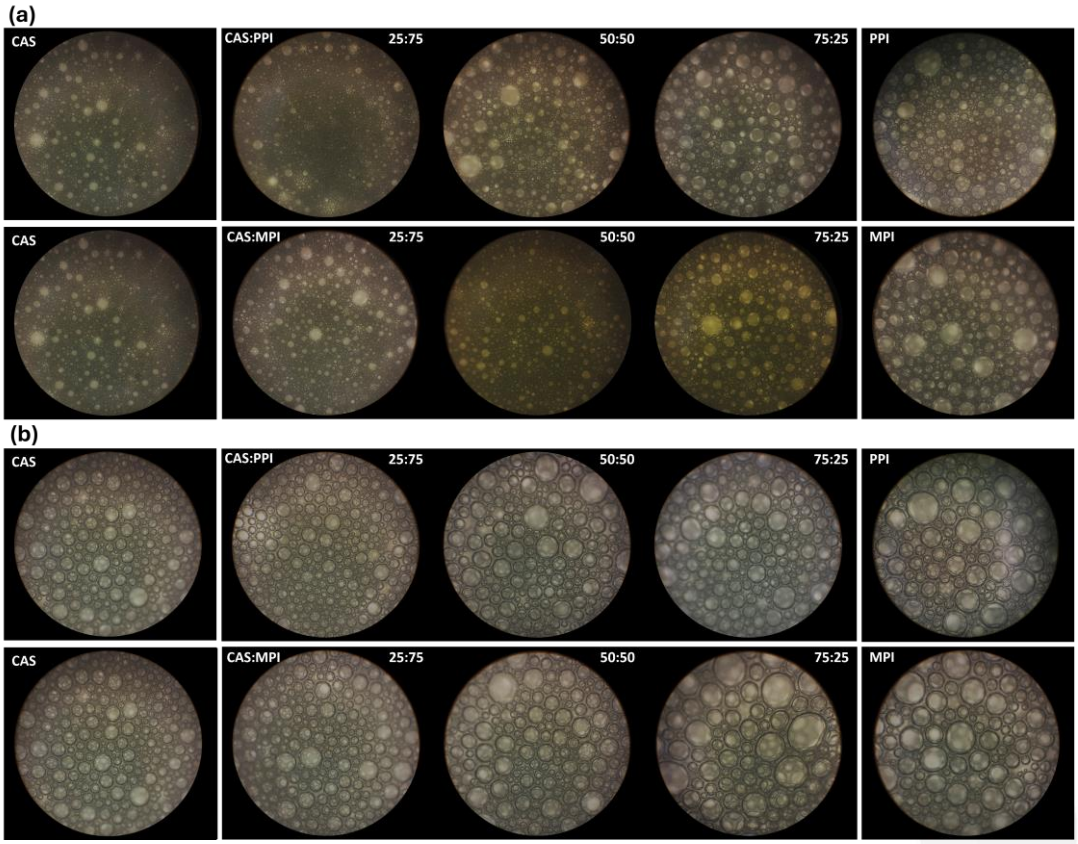


Figura 2: Microestrutura de espumas obtidas no tempo 0 (a) e após 30 min.

Todas as suspensões apresentaram carga superficial negativa. O potencial Zeta variou entre -30,13 mV e -18,97 mV nas amostras com PPI (Figura 3a) e entre -25,07 mV e -32,07 mV nos sistemas com MPI (Figura 3b). Os menores valores absolutos foram observados com 50 % de proteínas vegetais. Contudo, a modificação da proteína vegetal elevou o potencial Zeta, indicando maior estabilidade eletrostática em comparação com o sistema contendo 50 % de PPI.

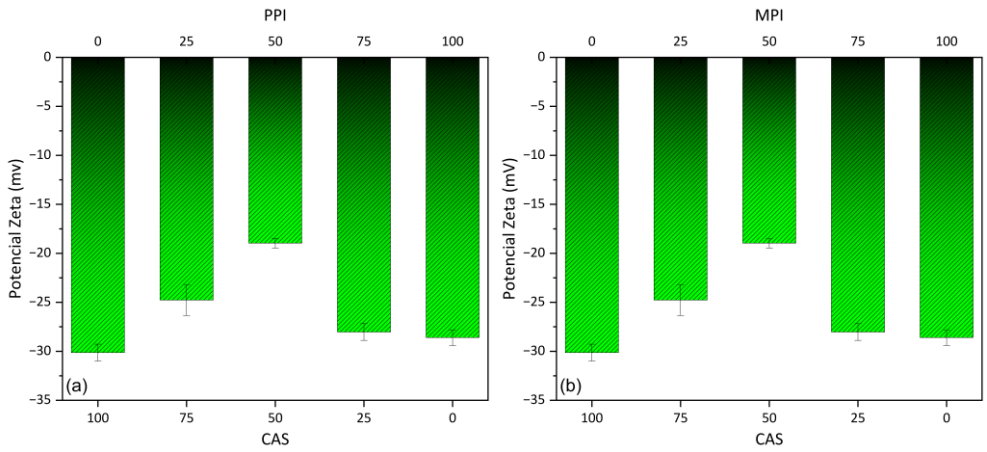


Figura 3: Potencial Zeta das suspensões.

Estes resultados corroboram a microestrutura homogênea previamente observada. Além disso, sugerem que a diminuição do valor absoluto do potencial Zeta está relacionada a proporções equivalentes das proteínas no sistema.

Conclusão

A substituição parcial da caseína por proteína vegetal melhorou as propriedades espumantes dos sistemas híbridos. A adição de até 50 % de PPI aumentou a CFE, embora com baixa estabilidade. Nos sistemas contendo MPI, especialmente na proporção CAS:MPI 50:50, a modificação por deslocamento de pH promoveu maior homogeneidade das bolhas e melhoria da estabilidade eletrostática em relação ao PPI, sugerindo interações mais eficientes com a caseína. Esses resultados confirmam o potencial de sistemas proteicos híbridos e possibilidades de aplicações em alimentos espumantes de consumo imediato.

Referências Bibliográficas

BOUKID, Fatma; ROSELL, Cristina M.; CASTELLARI, Massimo. Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. **Trends in food science & technology** v. 110, p. 729–742, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.040

DA SILVA, Raiane Rodrigues et al. Multi-scale organization and rheology of casein and pea protein mixed hydrogels formed by acidification: Effects of ratio and temperature. **Food research international** (Ottawa, Ont.) v. 209, n. 116242, p. 116242, 2025. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.116242

HIGA, Federica; NICKERSON, Colten; NICKERSON, Michael T. Effect of pH shifting and temperature on the functional properties of a commercial pea protein isolate. **Cereal chemistry** v. 102, n. 1, p. 89–101, 2025. DOI: 10.1002/cche.10847

HILBORN, Ray et al. The environmental cost of animal source foods. **Frontiers in ecology and the environment** v. 16, n. 6, p. 329–335, 2018. DOI: 10.1002/fee.1822

KINSELLA, J. E. Milk proteins: physicochemical and functional properties. **Critical reviews in food science and nutrition** v. 21, n. 3, p. 197–262, 1984. DOI: 1080/10408398409527401

NASCIMENTO, Luis Gustavo Lima et al. Impact of protein ratio and thermal treatment on the aggregation and rheological properties of high-concentrated milk and pea protein suspensions. **Food research international** (Ottawa, Ont.) v. 206, n. 116024, p. 116024, 2025. DOI: 10.1016/j.foodres.2025.116024

TSO, R.; LIM, A. J.; FORDE, C. G. A critical appraisal of the evidence supporting consumer motivations for alternative proteins. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 24, 2020. DOI: 10.3390/foods10010024

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024). Perspectivas da População Mundial 2024, Edição Online.

Autor(a) a ser contatado: Lucas Silva de Sousa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, Brasil, sousa.sl@outlook.com