

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FUNCIONAL DE PROTEÍNAS DO LEITE VISANDO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL

CHEMICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF MILK PROTEINS FOR INDUSTRIAL PROCESSING

Carolina Neves Cunha¹, Caroline Barroso dos Anjos², Elisa Reis Silva de Oliveira² Juliana de
Carvalho da Costa¹, Rodrigo Stephani² e Ítalo Tuler Perrone^{1*}

¹Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG 36036-900, Brasil.

²Departamento de Química, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG 36036-900, Brasil.

Resumo

As inovações tecnológicas na produção de proteínas do leite estimulam a criação de novos produtos que podem ser adaptados a vários sistemas alimentares. Apesar da crescente utilização dos concentrados de proteínas do leite (MPC), ainda há muito a compreender sobre como a aplicação destas proteínas pode resultar em uma relação mais rentável e um melhor aproveitamento dos seus atributos. Dada a abundância de variedades de MPC disponíveis no mercado, o objetivo deste estudo foi avaliar as suas propriedades físico-químicas e explorar o potencial de substituição dos MPC com base nas características desejadas do produto final. Foram analisados parâmetros como a estabilidade térmica, a capacidade de formação de espuma, as alterações de cor devido a reações de escurecimento e a capacidade de reidratação. Os resultados deste estudo oferecem informações valiosas para a indústria, fornecendo orientações sobre a seleção do MPC mais adequado para aplicações específicas. Isso, por sua vez, pode levar a melhorias no processo de produção.

Palavras-chave: Proteínas do leite, processamento industrial; MPC.

Introdução

O aumento do conhecimento e interesse dos consumidores sobre a importância proteica dietética e os benefícios para saúde, têm levado a uma procura global por ingredientes proteicos do leite (McSweeney et al., 2020). Em função disto, uso do concentrado de proteína do leite, do inglês milk protein concentrates (MPC) como constituinte lácteo tem ganhado destaque, em comparação ao leite desnatado que possui mais lactose e menos proteína que o MPC. Suas propriedades tecno-funcionais superiores, como concentração de lactose relativamente menor, alto teor de proteína, sabor neutro e boa digestibilidade têm sido um atrativo para o mercado (Khatkar et al., 2023). Eles também contribuem para ingestão de minerais, como cálcio, magnésio e fósforo, o que pode reduzir a necessidade de fontes adicionais desses nutricionais (Agarwal et al., 2015).

Inovações tecnológicas na produção dessas proteínas vêm possibilitando a criação de novos produtos que possuem adaptabilidade aos sistemas alimentícios e suas propriedades nutricionais, sensoriais e de textura têm sido exploradas pela indústria (Khalesi et al., 2023).

Devido a infinidade de MPCs no mercado, o objetivo deste trabalho foi relacionar as propriedades físico-químicas e orientar a indústria laticinista quanto a possibilidade de substituição de MPCs de diferentes marcas. Assim, serão analisadas características, como: estabilidade térmica, capacidade de formação de espuma, alteração de cor por reações de escurecimento e capacidade de reidratação.

Material e Métodos

Foram analisadas nove amostras de MPCs de diferentes marcas (nomeadas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9), sendo as amostras 7 e 8 MPC com 80% (m/m) de proteínas e as demais 70% (m/m) de proteínas.

Visando a caracterização físico-química foram realizadas as análises de morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV); determinação do pH e cálcio iônico; estabilidade térmica por tempo de coagulação pelo calor (HCT), determinação dos marcadores da reação de Maillard por cromatografia líquida de alta eficiência, determinação do índice de escurecimento por ensaios de colorimetria; propriedades de formação de espuma, perfil de reidratação dos pós por determinação do tamanho de partícula e índice de polidispersividade.

Resultados e Discussão

Influência do pH e do cálcio iônico no tempo de coagulação térmica

Foi avaliada a estabilidade térmica das nove amostras de MPC reidratadas a 10% (m/m), as amostras 1 e 2 apresentaram em média menor estabilidade, ou seja, menor tempo para coagulação, conforme evidenciado da tabela 1. Estas amostras se diferenciaram estatisticamente das outras nos valores de pH e cálcio iônico. A amostra 1 apresenta maior valor de pH e menor valor de cálcio iônico, enquanto a amostra 2 possui menor valor de pH e maior valor de cálcio iônico. Sugerindo a existência de um intervalo de pH e cálcio iônico que favoreça a estabilidade destas amostras, nas condições em que o teste foi aplicado. Sendo assim, o controle do pH após reidratação é um importante fator para estabilidade térmica das soluções.

Tabela 1: Perfil de cálcio iônico, pH e HCT para amostras reidratadas a 10% por 24h a 8°C. Sendo 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9 amostras comerciais de MPC70 e 7, 8 MPC80

Amostras	pH	Cálcio iônico (ppm)	HCT (min)
1	7,25 ± 0,02 ^A	69 ± 2 ^E	16,2 ± 6,7 ^A
2	6,75 ± 0,01 ^C	170 ± 2 ^A	12,6 ± 7,7 ^A
3	6,98 ± 0,04 ^B	120 ± 2 ^{CD}	26,0 ± 12,5 ^A
4	6,95 ± 0,01 ^B	147 ± 6 ^{ABC}	24,7 ± 6,9 ^A
5	6,92 ± 0,01 ^B	153 ± 1 ^{AB}	25,5 ± 6,3 ^A
6	6,87 ± 0,02 ^{BC}	153 ± 6 ^{AB}	25,2 ± 6,8 ^A
7	6,89 ± 0,06 ^B	130 ± 1 ^{BCD}	24,9 ± 1,8 ^A
8	6,95 ± 0,11 ^B	113 ± 6 ^D	24,1 ± 1,2 ^A
9	6,99 ± 0,02 ^B	163 ± 6 ^A	24,8 ± 7,1 ^A

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A análise de componentes principais ou *principal component analysis* (PCA) foi aplicada para os dados de pH e HCT, confirmando a relação de dependência da estabilidade térmica com uma faixa de pH, conforme representado na figura 1.

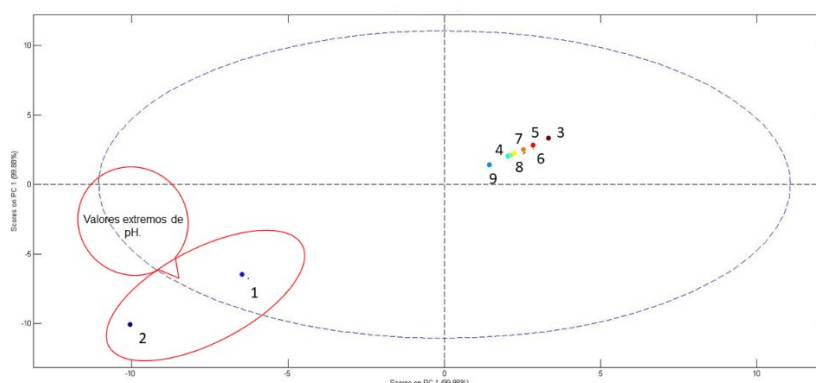


Figura 1: Relação entre pH e HCT pela análise de componentes principais. Sendo 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9 amostras comerciais de MPC70 e 7, 8 MPC80.

Determinação do índice de espuma

A formação de espuma é uma característica que pode afetar processos tecnológicos, sendo um fator complicador na aplicação dos produtos em algumas linhas de produção de lácteos. Na tabela 2 estão representadas as diferenças em centímetros, dos valores antes e após a estabilização da espuma. Menores valores representam espumas mais estáveis, sua formação se mantém por maior tempo. A amostra 8 foi a que apresentou menor variação, sendo indicativo de que a aplicação deste produto deve considerar a sua maior probabilidade de formação de espuma. Em contrapartida, a amostra 6 possui menores chances de fornecer problemas associados a formação de espuma, já que possui o maior valor de Δ cm, indicando formação de espuma menos estável em comparação a formada pelas outras amostras. Ambas as amostras 8 e 6 se diferem estatisticamente das demais.

Tabela 2: Valores do índice de espuma para as amostras em pó de MPC. Sendo 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9 amostras comerciais de MPC70 e 7, 8 MPC80.

Amostras	Δ cm ⁻¹
1	4,0 ± 0,1 ^{DE}
2	7,0 ± 3,0 ^{CDE}
3	8,0 ± 2,0 ^{CDE}
4	13,0 ± 3,0 ^{BCD}
5	20,0 ± 2,0 ^{AB}
6	22,0 ± 0,04 ^A
7	11,0 ± 5,0 ^{BCD}
8	2,0 ± 1,0 ^E
9	15,0 ± 3,0 ^{ABC}

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Marcadores da reação de escurecimento e parâmetros de cor

O índice de escurecimento ou browning index (BI) é um dos indicadores mais utilizados em produtos alimentícios que contém açúcar, ele indica mudanças na cor com relação ao escurecimento, sendo definido como a pureza da cor marrom (Pathare et al., 2012), seus valores estão apresentados na tabela 3, assim como os valores de HMF. Sendo este o único analito, marcador da reação de Maillard, encontrado em quantidades detectáveis e quantificáveis.

Tabela 3: Quantidades de HMF presente nas amostras e valores de browning index (BI). Sendo 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9 amostras comerciais de MPC70 e 7, 8 MPC80.

AMOSTRAS	HMF (mg/100g)	BI
1	0,126 ± 0,002 ^A	12,42 ± 0,11 ^B
2	0,051 ± 0,018 ^C	11,51 ± 0,16 ^C
3	0,043 ± 0,014 ^C	12,51 ± 0,07 ^B
4	0,083 ± 0,007 ^{BC}	11,22 ± 0,19 ^C
5	0,108 ± 0,043 ^{AB}	9,45 ± 0,01 ^D
6	<LQ	9,36 ± 0,04 ^D
7	<LQ	8,15 ± 0,03 ^E
8	0,057 ± 0,013 ^C	9,24 ± 0,03 ^E
9	<LQ	14,66 ± 0,11 ^A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. Para os resultados de HMF foi aplicado o teste de Duncan e para BI vou aplicado Tukey. Limite de quantificação HMF (LQ): 0,012 mg/100g (Pinto, 2023).

Distribuição do tamanho de partícula e capacidade de reidratação

A distribuição do tamanho de partículas foi analisada em 5 tempos diferentes, obtidos por meio da adição do pó ao módulo líquido do analisador. Esta análise tem como finalidade contribuir para o entendimento do processo de reidratação, já que as leituras são realizadas simultaneamente à dissolução do pó. A amostra 6 é a que apresenta o perfil mais discrepante em relação as outras amostras, com maior porcentagem de partículas na região abaixo de 50 μm . As amostras 2, 3 e 9 são as que apresentam o perfil de distribuição das partículas mais próximo da região de 100 μm . Para compreender melhor as diferenças quanto a capacidade de reidratação das amostras, foi realizada análise estatística e a determinação do PDI das partículas em solução. Estes resultados são apresentados na tabela 4 e foram aplicados ao último tempo de leitura, 7,5 minutos.

Tabela 4 - Distribuição do tamanho de partícula para amostras de MPC e PDI em solução no último tempo de análise (7,5 minutos). Sendo 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 9 amostras comerciais de MPC70 e 7, 8 MPC80.

Amostras	Dv10 (μm)	Dv50 (μm)	Dv90 (μm)	< 50 μm (% volume)	PDI
1	25,72 $\pm$ 0,52 ^A	89,22 $\pm$ 7,24 ^{BC}	237,15 $\pm$ 18,17 ^A	27,2 $\pm$ 2,83 ^D	2,37 $\pm$ 0,02 ^{AB}
2	23,36 $\pm$ 1,24 ^B	100,80 $\pm$ 0,85 ^A	198,20 $\pm$ 10,89 ^{BC}	21,65 $\pm$ 0,07 ^E	1,73 $\pm$ 0,08 ^E
3	20,79 $\pm$ 0,27 ^C	94,31 $\pm$ 1,06 ^{AB}	196,30 $\pm$ 7,07 ^{BC}	26,50 $\pm$ 1,56 ^{DE}	1,86 $\pm$ 0,10 ^E
4	17,01 $\pm$ 0,25 ^D	85,05 $\pm$ 0,76 ^{BCD}	172,90 $\pm$ 1,56 ^C	27,25 $\pm$ 0,35 ^D	1,83 $\pm$ 0,01 ^E
5	14,21 $\pm$ 0,25 ^E	76,69 $\pm$ 3,05 ^D	180,35 $\pm$ 9,97 ^{BC}	34,05 $\pm$ 1,34 ^C	2,17 $\pm$ 0,04 ^{BC}
6	14,48 $\pm$ 0,05 ^E	47,83 $\pm$ 0,09 ^E	115,30 $\pm$ 0,57 ^D	52,55 $\pm$ 0,07 ^A	2,11 $\pm$ 0,01 ^{CD}
7	14,37 $\pm$ 0,01 ^E	79,62 $\pm$ 0,25 ^{CD}	209,05 $\pm$ 0,78 ^{AB}	33,65 $\pm$ 0,07 ^C	2,45 $\pm$ 0,02 ^A
8	13,27 $\pm$ 0,34 ^E	53,70 $\pm$ 1,44 ^E	115,10 $\pm$ 8,06 ^D	46,25 $\pm$ 1,34 ^B	1,90 $\pm$ 0,09 ^{DE}
9	18,94 $\pm$ 0,55 ^E	96,11 $\pm$ 2,79 ^E	202,65 $\pm$ 5,87 ^{ABC}	25,25 $\pm$ 0,92 ^{DE}	1,91 $\pm$ 0,01 ^{DE}

A estatística aplicada classificou as amostras em 3 grupos considerando as porcentagens de partículas menores que 50 μm . As amostras 6 e 8 apresentam maior porcentagem de partículas abaixo de 50 μm , sendo estatisticamente diferente das demais amostras, indicando um perfil de reidratação maior que as outras. Seguidas das amostras 5 e 7, com valores estatisticamente semelhantes entre si e diferentes das demais e as amostras 1, 2, 3, 4 e 9 com os menores valores de porcentagem de partículas abaixo de 50 μm . A amostra 1 apresenta maior valor de Dv90, sendo estatisticamente diferente das outras, indicando que após 7,5 minutos esta amostra ainda apresenta partículas maiores que as demais, podendo ser um indicativo de menor capacidade de reidratação. As amostras 6 e 8 possuem estatisticamente os menores valores de Dv90 e Dv50, sugerindo que no último tempo de análise estas amostras apresentaram uma melhor reidratação. O PDI calculado para as partículas em solução foi significativamente diferente apenas para a amostra 7, sendo o de maior valor. Ou seja, esta amostra apresenta uma maior variabilidade na distribuição do tamanho de partículas dispersas em solução.

Análise comparativa da viabilidade de aplicação tecnológica de MPCs em laticínios

A figura 2 reúne as amostras quanto as principais características. Elas foram agrupadas por quadrantes quanto a sua estabilidade térmica, menor capacidade de formação de espuma estável, menor contribuição em reações de escurecimento e melhor capacidade de reidratação. As amostras no interior do círculo menor (vermelho) apresentaram resultados desfavoráveis em relação a característica avaliada em cada quadrante, as amostras agrupadas no círculo intermediário

apresentaram bons resultados e as amostras no círculo mais externo (azul) apresentaram propriedades superiores em relação as outras, para a característica avaliada em determinado quadrante.

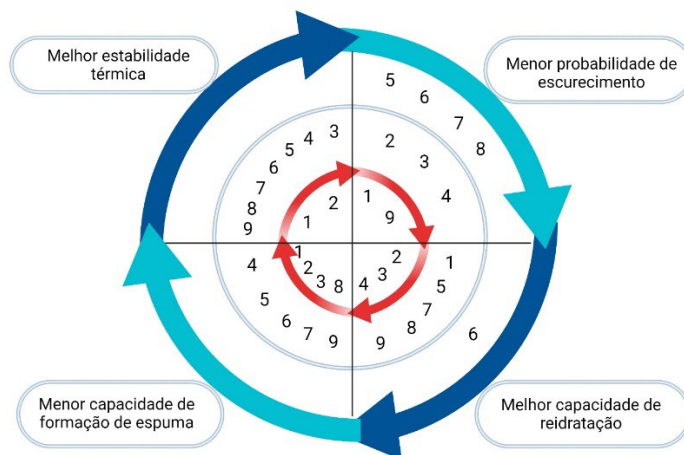


Figura 2: Diagrama de aplicação de MPC em tecnologia de laticínios.

O diagrama de aplicação apresentado reúne os resultados obtidos por meio das técnicas físico-químicas aplicadas em conjunto com as ferramentas estatísticas, relacionando com alguns dos principais requisitos para aplicação tecnológica dos MPCs.

Conclusão

As análises físico-químicas realizadas se mostraram complementares para a caracterização das amostras, apresentando correlação entre si evidenciada pela aplicação de testes estatísticos Tukey, Duncan e PCA. Após a discussão dos dados, alguns parâmetros foram selecionados para agrupar as amostras no diagrama de aplicações, considerando a estabilidade térmica, possibilidade de escurecimento, capacidade de formação de espuma e reidratação. Por meio deste diagrama desenvolvido, foi possível fornecer informações precisas para a escolha do MPC mais adequado para as diferentes aplicações na indústria laticinista. Os resultados obtidos nesse trabalho oferecem um direcionamento a indústria, proporcionando suporte para que possa ser utilizado o MPC que melhor se adeque a finalidade de aplicação, podendo caracterizar uma melhoria do processo produtivo e evitar problemas na linha de produção. É importante considerar que as amostras comerciais analisadas se encontram em diferentes estágios de vida, são de diferentes fornecedores e foram produzidas em diferentes datas.

Referências Bibliográficas

- Agarwal, S., Beausire, R. L., Patel, S., & Patel, H. (2015). Innovative uses of milk protein concentrates in product development. *J Food Sci*, 80 Suppl 1, A23-29. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12807>
- McSweeney, D. J., Maidannyk, V., Montgomery, S., O'Mahony, J. A., & McCarthy, N. A. (2020). The Influence of Composition and Manufacturing Approach on the Physical and Rehydration Properties of Milk Protein Concentrate Powders. *Foods*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/foods9020236>
- Khatkar, S. K., Khatkar, A. B., Mehta, N., Kaur, G., Dhull, S. B., & Prakash, S. (2023). Effective strategies for elevating the techno-functional properties of milk protein concentrate. *Trends in Food Science & Technology*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104169>
- Khalesi, M., Cermeño, M., & FitzGerald, R. J. (2023). Contribution of whey protein denaturation to the in vitro digestibility, biological activity and peptide profile of milk protein concentrate. *Journal of Functional Foods*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105543>.
- Autora a ser contatado: Carolina Neves Cunha. Programa de pós-graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900. Carolinanevescunha1@gmail.com