



Produção e caracterização mecânica de adesivos à base de caseína obtida de leite integral e desnatado

Sophia M. Santos¹, Davi S. B. Brasil¹, Raphaela S. Castro¹, Maria C. S. Magalhães¹

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, Pará, Brasil

sophia.santos@itec.ufpa.br

Palavras-Chave: Biopolímeros, biodegradabilidade, resistência mecânica.

Introdução

A utilização de adesivos é amplamente difundida em setores como papel, madeira, embalagens, indústria automotiva e construção civil. Atualmente, observa-se um aumento no uso de sistemas de colagem para a fixação de componentes, como baterias, filtros e revestimentos internos de veículos. Entretanto, a maior parte das colas sintéticas é proveniente de derivados petroquímicos, que podem causar impactos ambientais e emitir compostos potencialmente nocivos (Cavalcante, 2022).

Nesse contexto, cresce o interesse pelo desenvolvimento de colas biodegradáveis obtidas de matérias-primas renováveis, visando substituir adesivos sintéticos. Dentre os polímeros naturais empregados na fabricação de adesivos à base de água, a caseína destaca-se por suas propriedades adesivas e elevada capacidade de ligação entre superfícies.

A caseína corresponde a aproximadamente 80% das proteínas do leite e caracteriza-se como uma fosfoproteína organizada em micelas formadas por α -caseína, β -caseína e κ -caseína associadas ao fosfato de cálcio coloidal (Guo e Wang, 2016). Considerada um dos polímeros naturais mais antigos utilizados na fabricação de colas, foi amplamente empregada durante a Primeira Guerra Mundial na construção de aeronaves de madeira. Além dos adesivos, também foi utilizada na produção de tintas, revestimentos, papel e plásticos, sendo atualmente estudada para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis devido às suas propriedades adesivas e biodegradabilidade (Guo e Wang, 2016; Post *et al.*, 2012).

Na produção de adesivos, o teor de gordura do leite é um fator importante. O leite integral apresenta maior concentração lipídica, enquanto o leite desnatado possui maior proporção relativa de caseína. Assim, a utilização desses diferentes tipos de leite pode influenciar propriedades como viscosidade, homogeneidade, resistência e estabilidade das formulações adesivas (De Paula *et al.*, 2010).

A obtenção da caseína ocorre pela acidificação do leite, promovendo sua precipitação pela redução do pH. Esse processo diminui as cargas superficiais das micelas e favorece a solubilização do fosfato de cálcio coloidal, reduzindo as forças de estabilização e promovendo



a precipitação da proteína próxima ao seu ponto isoelétrico (pH 4,6). Após sua separação, a capacidade ligante da caseína é ativada por agentes alcalinos, possibilitando sua utilização na formulação de adesivos (Dalglish, 2012).

Os agentes ligantes influenciam propriedades como viscosidade, flexibilidade, resistência mecânica e estabilidade. O bicarbonato de sódio promove a solubilização parcial da caseína em meio alcalino, favorecendo a formação da estrutura adesiva (Post *et al.*, 2012). O amido aumenta a viscosidade da formulação (Gentile, 2022), enquanto o glicerol atua como plastificante, proporcionando maior flexibilidade e reduzindo o ressecamento do material (Shimazu *et al.*, 2007).

Desse modo, este trabalho teve como objetivo produzir e avaliar formulações de adesivos à base de caseína contendo diferentes agentes ligantes, analisando seu desempenho físico-químico e adesivo.

Material e Métodos

Precipitação da caseína ácida

Para precipitação da caseína, foram medidos separadamente 100 mL de leite desnatado e leite integral com auxílio de uma proveta. As amostras foram transferidas para béqueres de 400 mL e, posteriormente, adicionado 10 mL de ácido acético em cada recipiente utilizando um pipetador.

Após a adição do ácido acético, a mistura permaneceu em repouso de 15 a 20 minutos para promover a precipitação da caseína. Logo após, realizou-se uma filtração simples para separar a proteína do soro. Em seguida, removeu-se o excesso residual de soro e ácido acético com papel toalha. Todas as formulações foram preparadas em duplicata.

Adição do agente ligante

Em seguida, foram preparadas diferentes formulações por meio da adição de agentes ligantes às amostras de caseínas obtidas, como observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulações de cola

Amostra	Formulação
1	Caseína do leite integral + amido
2	Caseína do leite integral + glicerol ($C_3H_8O_3$)
3	Caseína do leite integral + bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$)
4	Caseína do leite desnatado + amido
5	Caseína do leite desnatado + glicerol ($C_3H_8O_3$)
6	Caseína do leite desnatado + bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$)

Fonte: Autores, 2026



Para cada formulação, realizada em duplicata, pesou-se 1g dos agentes ligantes, como visto na Tabela acima, utilizando balança analítica. Posteriormente, cada agente foi adicionado às amostras de leite integral e leite desnatado, previamente preparadas, e homogeneizadas continuamente até a obtenção das formulações adesivas com aparência uniforme.

Preparo dos ensaios mecânicos

Inicialmente, utilizaram-se folhas de papel como substrato para aplicação das formulações adesivas produzidas, com a finalidade de avaliar, por meio de um teste preliminar, o grau de colagem proporcionado pelo material. Os corpos de prova foram confeccionados em formato retangular, com dimensões padronizadas de 160 mm de comprimento e 20 mm de largura. Em seguida, foram dobrados ao meio, resultando em um comprimento final de 80 mm. Posteriormente, a cola produzida foi aplicada em uma das metades da região dobrada do corpo de prova, enquanto a outra extremidade, mantida sem aplicação do adesivo, foi destinada ao posicionamento e fixação na Máquina de Ensaio Mecânicos. Esse procedimento foi realizado em duplicata para cada formulação produzida.

Resultados e Discussão

Formulação dos adesivos naturais

A produção dos adesivos à base de caseína demonstrou que o tipo de leite e o agente ligante influenciam diretamente as propriedades das formulações obtidas. A caseína, principal proteína do leite, apresenta estrutura micelar capaz de formar redes proteicas com propriedades adesivas após modificações químicas, sendo suas características influenciadas por fatores como pH e composição do leite (Guo e Wang, 2016; Lucey, 2002).

No leite desnatado, as formulações apresentaram comportamentos distintos em função do agente ligante empregado. A formulação contendo bicarbonato de sódio apresentou maior homogeneidade, ausência de grumos e melhor espalhabilidade, características associadas à alcalinização do meio e à solubilização parcial da caseína, favorecendo a formação de uma estrutura adesiva mais uniforme (Post *et al.*, 2012; Lucey, 2002). Em contrapartida, a formulação contendo amido apresentou maior resistência ao escoamento, característica relacionada à capacidade desse polissacarídeo de absorver água e formar uma estrutura gelatinizada, influenciando a viscosidade e a estabilidade da formulação (Apriyanto *et al.*, 2022; Gentile, 2022). Já a formulação contendo glicerol apresentou maior flexibilidade e aparência mais semelhante à cola industrial após a secagem, comportamento atribuído à sua atuação como plastificante, embora sua adição em excesso possa reduzir a resistência mecânica (Gennadios *et al.*, 1993; Sothornvit *et al.*, 2000).

Nas formulações produzidas com leite integral, verificou-se a presença da fração lipídica característica desse tipo de leite. Os glóbulos de gordura podem atuar como fase

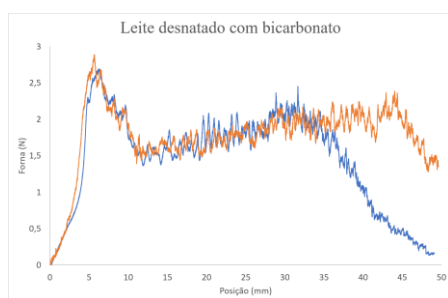


dispersa na matriz proteica, interferindo na organização das moléculas de caseína e, possivelmente, influenciando a formação da rede adesiva (Fox e Brodtkorb, 2008; Walstra *et al.*, 2006). Dessa forma, as diferenças de composição entre o leite desnatado e o leite integral podem influenciar propriedades como viscosidade, homogeneidade, resistência mecânica e estabilidade das formulações adesivas obtidas (De Paula *et al.*, 2010).

Análise mecânica

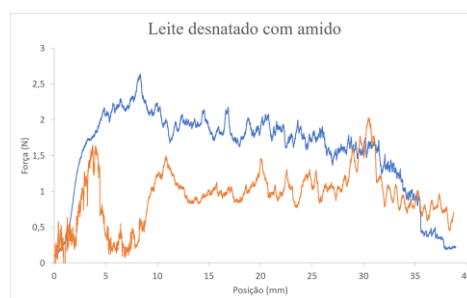
Para avaliar o desempenho adesivo das diferentes formulações, foram realizados ensaios mecânicos por meio da obtenção de curvas de força em função da posição. Essa análise permitiu comparar o comportamento das amostras durante a separação dos substratos, determinando a força máxima suportada pela união adesiva e a deformação até a ruptura.

Gráfico 1 – Força (N) x Posição (mm)



Fonte: Autores, 2026

Gráfico 2 – Força (N) x Posição (mm)



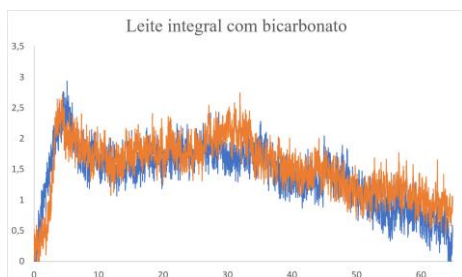
Fonte: Autores, 2026

Gráfico 3 – Força (N) x Posição (mm)



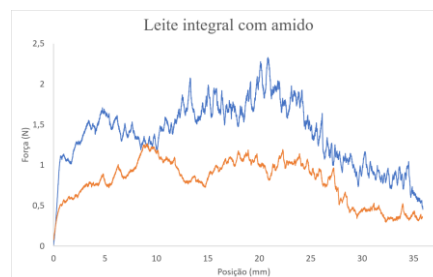
Fonte: Autores, 2026

Gráfico 4 – Força (N) x Posição (mm)



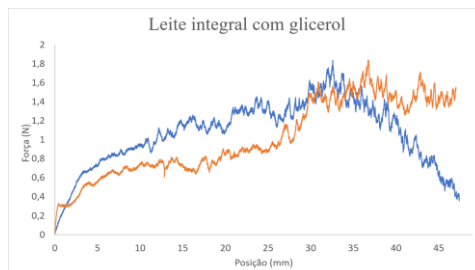
Fonte: Autores, 2026

Gráfico 5 – Força (N) x Posição (mm)



Fonte: Autores, 2026

Gráfico 6 – Força (N) x Posição (mm)



Fonte: Autores, 2026

Os resultados reforçam a influência da composição da matriz láctea discutida anteriormente (Costa de Paula et al., 2019). As formulações à base de leite desnatado apresentaram maior estabilidade mecânica, destacando-se a formulação com bicarbonato de sódio, que atingiu valores próximos a 2,0 N. Conforme Lucey (2002) e Post et al. (2012), esse comportamento está relacionado à maior disponibilidade de caseína e à alcalinização do meio, favorecendo a formação de uma rede proteica mais uniforme. Em contrapartida, as formulações com leite integral apresentaram menor resistência adesiva, possivelmente devido à presença da fração lipídica. Segundo Fox e Brodtkorb (2008) e Walstra et al. (2006), os glóbulos de gordura interferem na organização das moléculas de caseína e na formação da rede adesiva. Entre os agentes ligantes, o bicarbonato de sódio apresentou o melhor desempenho, enquanto o glicerol promoveu menor resistência adesiva na formulação com leite desnatado. Conforme Gennadios et al. (1993) e Sothornvit et al. (2000), embora o glicerol atue como plastificante, aumentando a flexibilidade da matriz, esse efeito pode reduzir sua resistência mecânica.

Conclusão

A partir da caracterização físico-química e mecânica das formulações, conclui-se que a composição da matriz láctea e o agente ligante influenciam diretamente as propriedades adesivas dos materiais obtidos. O leite desnatado apresentou maior potencial como matriz para a produção de adesivos, comportamento relacionado à maior disponibilidade de caseína e à ausência da fração lipídica. A combinação de leite desnatado e bicarbonato de sódio apresentou o melhor desempenho global, indicando que a alcalinização do meio favoreceu a formação da estrutura adesiva. O amido contribuiu para o aumento da viscosidade das formulações, enquanto o glicerol conferiu maior flexibilidade, porém apresentou menor resistência adesiva na formulação com leite desnatado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Biossoluções da Amazônia (LABA) pelo apoio técnico e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.



Referências

- APRIYANTO, A.; COMPART, J.; FETTKE, J. A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and *in planta* modifications. *Plant Science*, v. 318, art. 111223, 2022.
- CARDOSO, S.; NUNES, L.; FARIA, P. Utilização de colas naturais para placas de derivados de madeira – uma síntese. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, v. 27, n. 2, p. 143–151, 2015.
- CAVALCANTE, J. P. *Adesivos industriais: aplicações na indústria automotiva*. 2022. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Campus Betim, Betim, 2022.
- DE PAULA, N. C.; DOS ANJOS GUEDES, M. A.; LEMES, N. S.; SANTOS, V. R.; SILVA, F. C. Caracterização físico-química de leite UHT integral e desnatado e de leite cru comercializados na cidade de Ituiutaba - MG. *Revista Inova Ciência & Tecnologia*, v. 5, n. 2, p. 24–32, 2019.
- DALGLEISH, D. G.; CORREDIG, M. The structure of the casein micelle of milk and its changes during processing. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 3, p. 449–467, 2012.
- FOX, P. F.; BRODKORB, A. The casein micelle: historical aspects, current concepts and significance. *International Dairy Journal*, v. 18, n. 7, p. 677–684, 2008.
- GENNADIOS, A.; WELLER, C. L.; TESTIN, R. F. Property modification of edible wheat gluten-based films. *Transactions of the ASAE*, v. 36, n. 2, p. 465–470, 1993.
- GENTILE, L. Protein-polysaccharide interactions and aggregates in food formulations. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 2022.
- GUO, M.; WANG, G. Milk protein polymer and its application in environmentally safe adhesives. *Polymers*, Basel, v. 8, n. 9, art. 324, 2016.
- LUCEY, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. *Journal of Dairy Science*, v. 85, p. 281–294, 2002.
- POST, A. E.; ARNOLD, B.; WEISS, J.; HINRICHS, J. Effect of temperature and pH on the solubility of caseins: environmental influences on the dissociation of α S- and β -casein. *Journal of Dairy Science*, v. 95, n. 4, p. 1603–1616, 2012.
- SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Plasticizing and antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol on biodegradable cassava starch films. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 28, n. 1, p. 79–88, 2007.
- SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J. M. Plasticizer effect on mechanical properties of β -lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 48, n. 12, p. 6298–6302, 2000.
- WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. *Dairy Science and Technology*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.