

***Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* e cristais de tirosina: marcadores de qualidade e inovação na indústria de queijos**

Luan Ramos da Silva¹

Resumo

A maturação de queijos envolve processos bioquímicos e microbiológicos complexos que impactam diretamente suas características sensoriais e estruturais. Este trabalho teve como objetivo revisar a atuação da *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* na formação de olhaduras em queijos tipo suíço e a formação de cristais de tirosina em queijos tipo parmesão, destacando os aspectos tecnológicos, sensoriais e os desafios para a indústria de laticínios. O foco da revisão foi a atuação da *P. freudenreichii* na maturação de queijos tipo suíço e sobre a formação de cristais de tirosina em queijos tipo parmesão. A *P. freudenreichii* é uma bactéria gram-positiva que fermenta lactato, gerando ácido propiônico, ácido acético e CO₂, sendo este responsável pelas cavidades características dos queijos tipo Emmental. Ademais, possui propriedades probióticas e contribui para o desenvolvimento de sabor e textura. Já no parmesão, a maturação prolongada promove intensa proteólise, liberando aminoácidos como a tirosina, que se cristaliza devido à sua baixa solubilidade, formando grânulos visíveis associados à maturação avançada e à crocância. A presença desses cristais é um indicador de qualidade sensorial e estrutural. A compreensão dos mecanismos envolvidos em ambos os processos é fundamental para a padronização, inovação tecnológica e valorização dos queijos maturados.

Descritores: Queijo suíço; Produtos lácteos; Tecnologia de leites; Processamento de queijos.

Introdução

A maturação de queijos é um processo complexo que envolve transformações microbiológicas e bioquímicas responsáveis pelo desenvolvimento das características sensoriais e estruturais dos produtos lácteos. Essas transformações incluem a degradação de proteínas, lipídios e carboidratos, que liberam compostos de sabor e modificam a textura do queijo (PAGTHINATHAN; NAFEEES, 2015). A indústria de laticínios tem investido continuamente no uso de culturas microbianas específicas para aprimorar a qualidade, o valor nutricional e a funcionalidade dos queijos.

Dentre essas culturas, destaca-se a *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*, uma bactéria gram-positiva amplamente utilizada na produção de queijos tipo suíço, como o Emmental, devido à sua capacidade de fermentar lactato em acetato, propionato e dióxido de carbono (CO₂). O CO₂ gerado durante a fermentação é responsável pela formação das olhaduras, termo utilizado para descrever os furos e bolhas presentes no queijo, características

¹ Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas(UNICAMP). <https://orcid.org/0000-0003-1150-696>. luanramosea@gmail.com

desses queijos, enquanto os ácidos produzidos contribuem para o perfil sensorial adocicado e amanteigado (THIERRY et al., 2011). *P. freudenreichii* desempenha papel importante na lipólise, liberando ácidos graxos livres que são compostos-chave para o sabor do queijo suíço (ABEIJÓN-MUKDSI et al., 2014). A interação com outras bactérias, como *Lactobacillus helveticus*, é fundamental para o crescimento e atividade metabólica da *P. freudenreichii*, influenciando a qualidade final do produto (ANGELOPOULOU et al., 2017).

Paralelamente, queijos do tipo parmesão apresentam um processo de maturação distinto, marcado por reações enzimáticas prolongadas que promovem o desenvolvimento de uma textura firme, sabor marcante e aroma intenso (PAGTHINATHAN; NAFEES, 2015). Um dos fenômenos mais expressivos associados à maturação do parmesão é a formação de cristais de tirosina, que são pequenos grânulos brancos visíveis na pasta do queijo. Esses cristais resultam da proteólise das caseínas, que libera aminoácidos, e da subsequente cristalização da tirosina, aminoácido pouco solúvel em água (FURTADO, 2005; POLOWSKY et al., 2018). A presença desses cristais é considerada um indicador de maturação avançada e qualidade sensorial, conferindo crocância e valorização ao produto final (D'INCECCO et al., 2020). Estudos mostram que a maturação do Parmigiano Reggiano pode se estender até 50 meses, durante os quais ocorrem contínuas modificações bioquímicas e estruturais, como a degradação de α 1- e β -caseínas e o acúmulo de compostos voláteis que enriquecem o sabor (D'INCECCO et al., 2020).

Diante da importância tecnológica e sensorial desses fenômenos, a compreensão dos mecanismos bioquímicos envolvidos na atuação da *P. freudenreichii* subsp. *shermanii* na produção de queijos tipo suíço e na formação de cristais de tirosina no queijo parmesão é fundamental para a indústria de laticínios. Esses conhecimentos permitem otimizar processos de maturação, melhorar a padronização dos produtos e explorar benefícios funcionais, como a potencial ação probiótica da *P. freudenreichii* (GARDNER; CHAMPAGNE, 2005; RODOVALHO et al., 2022; ROSSI et al., 2025). Contudo, desafios persistem na padronização desses processos devido à variabilidade microbiana e às condições ambientais durante a maturação, exigindo contínua pesquisa e inovação tecnológica.

Este trabalho teve como objetivo revisar a atuação da *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* na formação de olhaduras em queijos tipo suíço e a formação de cristais de

tirosina em queijos tipo parmesão, destacando os aspectos tecnológicos, sensoriais e os desafios para a indústria de laticínios.

Métodos

Este estudo consiste em uma pesquisa qualitativa do tipo revisão bibliográfica (PEREIRA et al., 2018; SILVA; VILELA, 2019), com enfoque em uma revisão narrativa, caracterizada como não sistemática (CASARIN et al., 2020; ROTHER, 2007). A revisão teve como objetivo reunir e analisar informações sobre a atuação da *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* na maturação de queijos tipo suíço e sobre a formação de cristais de tirosina em queijos tipo parmesão.

A busca por referências foi realizada em bases de dados científicas como ScienceDirect, Scopus, Web of Science, Google Acadêmico e SciELO, utilizando termos como “*Propionibacterium freudenreichii*”, “maturação de queijos”, “formação de olhaduras”, “cristais de tirosina”, “queijo suíço” e “queijo parmesão”. Foram priorizadas fontes relevantes e atualizadas, sem restrição quanto ao ano de publicação. A revisão considerou artigos científicos, livros técnicos, dissertações, teses e legislações brasileiras aplicáveis à produção de queijos.

Essa abordagem permitiu uma análise abrangente dos aspectos microbiológicos e bioquímicos envolvidos nos processos de maturação, com foco em suas implicações tecnológicas, sensoriais e funcionais para a indústria de laticínios.

Resultados

Propionibacterium freudenreichii subsp. *shermanii*

A bactéria *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* desempenha um papel essencial na produção de queijos, especialmente os do tipo suíço, como o Emmental. Sua principal função ocorre na etapa de maturação, quando fermenta o ácido láctico presente no queijo e gera compostos como ácido propiônico, ácido acético e gás carbônico (CO₂) (ANGELOPOULOU et al., 2017; ANASTASIOU et al., 2006; GAGNAIRE et al., 2015). O CO₂ produzido durante esse processo fica retido na massa do queijo e, ao se acumular, forma as características olhaduras (buracos), que são um dos principais diferenciais desses queijos. Ademais, os ácidos orgânicos gerados contribuem para o desenvolvimento de um sabor

levemente adocicado e de nozes, enriquecendo o perfil sensorial do produto (ANASTASIOU et al., 2006; THIERRY et al., 2011).

Além de sua relevância tecnológica na fabricação de queijos, *P. freudenreichii* também apresenta propriedades probióticas amplamente estudadas (COUSIN et al., 2016; MANTEL et al., 2024; MISME-AUCOUTURIER et al., 2024; RODOVALHO et al., 2022; WU et al., 2025). Essa bactéria tem demonstrado efeitos benéficos no trato gastrointestinal, incluindo ação moduladora do sistema imunológico e potencial atividade anticancerígena (ANGELOPOULOU et al., 2017). Sua capacidade de produzir ácidos orgânicos e outros metabólitos bioativos pode auxiliar na regulação da microbiota intestinal (MISME-AUCOUTURIER et al., 2024), promovendo um ambiente mais equilibrado e saudável para o organismo.

Outro aspecto crucial dessa bactéria é sua notável resistência a condições adversas, tanto no ambiente de produção de queijos quanto no trato digestivo humano. *P. freudenreichii* consegue sobreviver e se adaptar a pH ácido, como o do estômago, o que é fundamental para sua funcionalidade como probiótico (JAM et al., 2000). Essa característica permite que a bactéria atue de forma eficiente ao longo do processo de maturação dos queijos (ROCCHETTI et al., 2025; ROSSI et al., 2025), garantindo estabilidade e consistência na formação das olhaduras e na intensificação do sabor.

Portanto, a utilização de *P. freudenreichii* subsp. *shermanii* na produção de queijos não apenas aprimora a textura e o perfil sensorial do produto, mas também agrega valor nutricional e funcional (KURMINDLA et al., 2022; RODOVALHO et al., 2022). Seu duplo papel, como agente responsável pela maturação e como potencial probiótico, torna essa bactéria um micro-organismo essencial para a indústria de laticínios, contribuindo tanto para a qualidade dos queijos quanto para potenciais benefícios à saúde dos consumidores.

Influência na Produção de Queijos

A *Propionibacterium freudenreichii* é amplamente utilizada como cultura de maturação na produção de queijos tipo suíço, desempenhando um papel essencial no desenvolvimento de características sensoriais desejáveis, como sabor, textura e a formação das tradicionais olhaduras (THIERRY et al., 2011). Durante a fermentação, essa bactéria metaboliza o lactato presente na massa do queijo, convertendo-o em ácido propiônico, ácido acético e gás carbônico (CO₂). O CO₂ fica retido dentro da estrutura do queijo e, ao se acumular, gera as cavidades

típicas desses produtos (WANG; YANG, 2013). Além desse efeito visual, os metabólitos gerados pela fermentação influenciam diretamente na textura do queijo, tornando-a mais macia e homogênea (THIERRY et al., 2011).

A produção de gás carbônico por *P. freudenreichii* contribui significativamente para o desenvolvimento do sabor e aroma do queijo. Esse processo ocorre por meio do catabolismo de aminoácidos e da hidrólise da gordura do leite, resultando na formação de compostos voláteis que conferem notas sensoriais únicas ao produto (OJALA et al., 2017; THIERRY; MAILLARD, 2002). A interação entre os metabólitos gerados e as demais culturas microbianas presentes durante a maturação influencia a complexidade e intensidade do sabor do queijo, tornando-o mais marcante e apreciado pelos consumidores.

A produção de ácido propiônico, através da utilização de açúcares fermentescíveis (como glicose, xilose ou resíduos ricos em carboidratos) como fonte de carbono (AMMAR et al., 2020), é uma das características metabólicas mais relevantes dessa bactéria, sendo essencial para a preservação e o perfil sensorial dos queijos. Esses açúcares são metabolizados pela via do Wood–Werkman, na qual parte do piruvato proveniente da glicólise é carboxilado a oxaloacetato e convertido em succinato, que por sua vez é reduzido a propionato (PIWOWAREK et al., 2021a). Paralelamente, outra fração do piruvato é direcionada para a formação de acetato, o principal subproduto do processo. Essa rota metabólica permite ao microrganismo regenerar cofatores redox e gerar energia celular, resultando na conversão de carboidratos em ácido propiônico como produto predominante da fermentação (PIWOWAREK et al., 2021a; 2021b). Esse ácido, combinado a outros compostos como ácidos graxos livres e ácidos metil-butanóicos, confere um sabor levemente adocicado e um toque de nozes, típico dos queijos suíços (THIERRY et al., 2011). A ação de *P. freudenreichii* pode inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis, contribuindo para a segurança microbiológica do queijo e prolongando sua vida útil.

Outro fator que agrega valor nutricional ao queijo maturado com *P. freudenreichii* é sua capacidade de produzir vitamina B₁₂ (WANG; YANG, 2013). A síntese dessa vitamina torna o queijo uma fonte natural desse nutriente essencial, especialmente importante para populações que seguem dietas vegetarianas. Dessa forma, além de sua importância tecnológica na produção de queijos, a *P. freudenreichii* pode ser explorada para o desenvolvimento de alimentos funcionais, promovendo benefícios à saúde dos consumidores.

Potencial probiótico e aplicações

A *P. freudenreichii* tem sido cada vez mais considerada por seus potenciais efeitos probióticos. Estudos indicam que essa bactéria pode modular a microbiota intestinal e produzir compostos bioativos, como o propionato, que está associado a benefícios no metabolismo energético e na prevenção de doenças inflamatórias intestinais (ANGELOPOULOU et al., 2017; ANASTASIOU et al., 2006). A capacidade da bactéria de sobreviver em condições ácidas e salgadas, como as encontradas no queijo Feta, permite sua utilização como cultura adjunta para conferir características probióticas ao produto, sem comprometer a aceitação sensorial (ANGELOPOULOU et al., 2017).

Desafios e estratégias de otimização

Apesar de seus benefícios, a fermentação tradicional com *P. freudenreichii* enfrenta desafios, como baixa produtividade e a coprodução de subprodutos indesejados, como ácido acético e succínico (WANG; YANG, 2013). Estudos sugerem que a co-fermentação de glicose e glicerol pode ser uma estratégia promissora para otimizar a produção de ácido propiônico, equilibrando rendimento e produtividade (WANG; YANG, 2013).

Formação de cristais de tirosina em queijos tipo parmesão

O queijo Parmesão pode ser produzido a partir de leite *in natura*, pasteurizado e/ou reconstituído padronizado, conforme a legislação brasileira vigente (BRASIL, 1997). Trata-se de um queijo semigordo, caracterizado por seu baixo teor de umidade, consistência dura e textura compacta, com um aspecto ligeiramente granulado. Sua crosta é espessa, variando entre 4 e 8 mm de espessura, apresenta superfície lisa e coloração amarelo-palha, típica da maturação. Sensorialmente, o Parmesão possui um sabor marcante, levemente picante e salgado, e um aroma suave e agradável, que se intensifica com o tempo de maturação.

O formato tradicional do queijo Parmesão é cilíndrico, e seu peso pode variar entre 5 e 10 kg. Para garantir suas características sensoriais e estruturais ideais, a temperatura de armazenamento não deve ultrapassar 18°C. O processo de maturação é fundamental para o desenvolvimento de sua textura e sabor e deve ocorrer por um período aproximado de seis meses (BRASIL, 1997).

Em relação à eficiência produtiva, a fabricação do Parmesão apresenta um rendimento médio de aproximadamente 13 kg de leite para a obtenção de 1 kg de queijo completamente maturado, demonstrando a elevada concentração de sólidos lácteos na composição final do

produto (PERRY, 2004). Esse rendimento reflete a importância do controle rigoroso das etapas de produção, incluindo a seleção do leite, a coagulação, a prensagem e a maturação, para garantir um produto de alta qualidade e características sensoriais desejáveis (BRASIL, 1997; GOVINDASAMY-LUCEY et al., 2004).

As interações entre a lactose e os demais componentes presentes no queijo são altamente complexas e influenciam diretamente a qualidade do produto final, afetando sua textura, sabor e aparência ao longo da maturação (PERKO, 2002). A degradação da lactose e sua interação com proteínas e outros compostos podem desencadear uma série de reações bioquímicas, impactando tanto as propriedades sensoriais quanto a estabilidade do queijo. Entre essas transformações, destaca-se a proteólise, um processo essencial na maturação dos queijos, que leva à liberação de aminoácidos, como a tirosina. Nesse contexto, Furtado (2005) ressalta que a presença de cristais de tirosina na superfície do queijo é um indicativo positivo da atividade proteolítica, refletindo uma maturação adequada. Esses cristais, frequentemente observados em queijos maturados, não apenas conferem uma textura diferenciada ao produto, mas também contribuem para o desenvolvimento do sabor característico, agregando valor sensorial e qualitativo ao queijo (NOËL et al., 1996).

Os cristais de tirosina são uma característica distintiva dos queijos curados de alta qualidade. Estes cristais são formados durante a maturação do queijo e são um indicador de qualidade, sinalizando uma maturação avançada e correta. A formação de cristais de tirosina envolve a degradação das proteínas do leite em aminoácidos, que se cristalizam devido à sua baixa solubilidade em água (NOËL et al., 1996; POLOWSKY et al., 2018).

Barros et al. (2011) investigaram o processo de maturação de três lotes de queijo parmesão e observaram um aumento significativo nos teores dos aminoácidos tirosina e triptofano ao longo do tempo. Essa elevação foi constatada tanto entre os diferentes lotes analisados quanto nos distintos períodos de maturação avaliados (Figura 1). A amostra do lote L3, apresentou a maior concentração de tirosina ($322,54 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), após 180 dias de maturação. As diferenças nas características físico-químicas entre os lotes foram atribuídas principalmente ao teor de sal, que variou de 0,97% no L1 a 1,06% no L3. Ademais, o lote L3 destacou-se por apresentar maior teor de cinzas (4,43%), enquanto os valores de umidade (30,21%) e gordura (27,1%) foram inferiores em comparação aos demais lotes.

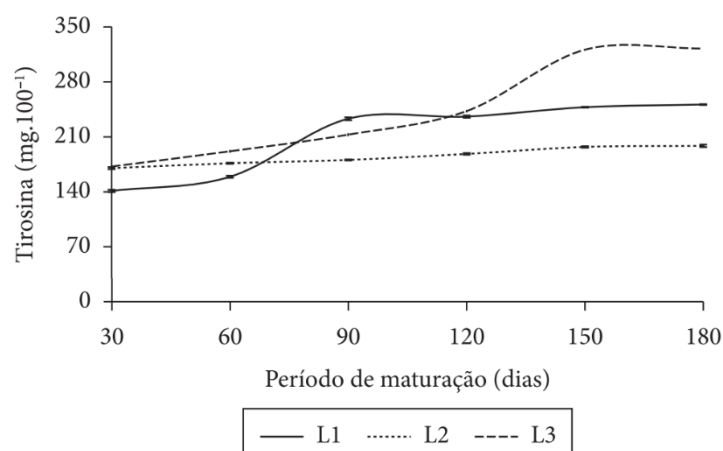


Figura 1. Evolução do teor de tirosina em diferentes lotes de queijo parmesão durante a maturação. (Adaptado de BARROS et al., 2011)

O aumento dos teores de tirosina e triptofano durante a maturação do queijo está diretamente relacionado à intensa atividade proteolítica que ocorre nesse período, resultando na liberação progressiva de aminoácidos na matriz do queijo (FURTADO, 2005). Em queijos duros, como o parmesão, a alta concentração de tirosina pode levar à formação de pigmentos brancos na superfície, frequentemente observados como pequenos cristais. Esses cristais contribuem para a percepção visual do produto e influenciam a experiência sensorial, adicionando uma textura crocante característica ao paladar.

Conclusão

A *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* é fundamental na produção de queijos tipo suíço, pois contribui para sabor, textura, formação de olhaduras e agrega valor funcional pelo potencial probiótico. Sua aplicação em outros queijos, como o Feta, pode gerar produtos diferenciados sem comprometer a aceitação sensorial. Já no queijo Parmesão, a formação de cristais de tirosina durante a maturação é um marcador de qualidade, associado à proteólise e ao desenvolvimento do sabor e da textura característicos. A compreensão desses processos é essencial para a produção de queijos, valorizados mundialmente. O uso de culturas microbianas funcionais e o monitoramento preciso da maturação representam caminhos promissores para a inovação na indústria queijeira, alinhando qualidade sensorial, valor nutricional e aceitação do consumidor.

Referências

- ABEIJÓN-MUKDSI, M. C.; FALENTIN, H.; MAILLARD, M. B.; CHUAT, V.; MEDINA, R. B.; PARAYRE, S.; THIERRY, A. The Secreted Esterase of *Propionibacterium freudenreichii* Has a Major Role in Cheese Lipolysis. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 80, n. 2, p. 751–756, 1 jan. 2014.
- AMMAR, E. M.; MARTIN, J.; BRABO-CATALA, L.; PHILIPPIDIS, G. P. Propionic acid production by *Propionibacterium freudenreichii* using sweet sorghum bagasse hydrolysate. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 104, n. 22, p. 9619-9629, 2020. <http://doi.org/10.1007/s00253-020-10953-w>
- ANASTASIOU, R.; LEVERRIER, P.; KRESTAS, I.; ROUANAULT, A.; KALANTZOPOULOS, G.; BOYAVAL, P.; TSAKALIDOU, E.; JAN, G. Changes in protein synthesis during thermal adaptation of *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*. *International Journal of Food Microbiology*, v. 108, p. 301-314, 2006.
- ANGELOPOULOU, A.; ALEXANDRAKI, V.; GEORGALAKI, M.; ANASTASIOU, R.; MANOLOPOULOU, E.; TSAKALIDOU, E.; PAPADIMITRIOU, K. Survival of *Propionibacterium freudenreichii* in probiotic Feta cheese: Implications for flavour development and health benefits. *Food Microbiology*, v. 66, p. 176-184, 2017.
- BARROS, J. J. C.; AZEVEDO, A. C.; FALEIROS JÚNIOR, L. R.; TABOGA, S. R.; PENNA, A. L. B. Queijo Parmesão: caracterização físico-química, microbiológica e microestrutura. *Food Science and Technology*, v. 31, n. 2, p. 285–294, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijo Parmesão. Portaria 353 de 4 de setembro de 1997. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 08 set. 1997. Seção 1, p. 19684. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>
- CASARIN, S. T.; PORTO, A. R.; GABATZ, R. I. B.; BONOW, C. A.; RIBEIRO, J. P.; MOTA, M. S. Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health. *Journal of Nursing and Health*, v. 10, n. esp., p. e20104031, 2020.
- COUSIN, F. J.; JOUAN-LANHOUE, S.; THÉRET, N.; BRENNER, C.; JOUAN, E.; LE MOIGNE-MULLER, G.; DIMANCHE-BOITREL, M. T.; JAN, G. The probiotic *Propionibacterium freudenreichii* as a new adjuvant for TRAIL-based therapy in colorectal cancer. *Oncotarget*, v. 7, n. 6, p. 7161–7178, 2016. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.6881>
- D'INCECCO, P.; LIMBO, S.; HOGENBOOM, J.; ROSI, V.; GOBBI, S.; PELLEGRINO, L. Impact of Extending Hard-Cheese Ripening: A Multiparameter Characterization of Parmigiano Reggiano Cheese Ripened up to 50 Months. *Foods*, v. 9, n. 3, p. 268, 2 mar. 2020.
- FURTADO, M. M. Principais problemas dos queijos: causas e prevenção. São Paulo: Metha, 2005. 200 p.

GAGNAIRE, V.; JARDIN, J.; RABAH, H.; BRIARD-BION, V.; JAN, G. Emmental Cheese Environment Enhances *Propionibacterium freudenreichii* Stress Tolerance. PLoS ONE, v. 10, n. 8, p. e0135780, 2015.

GARDNER, N.; CHAMPAGNE, C. P. Production of *Propionibacterium shermanii* biomass and vitamin B12 on spent media. Journal of Applied Microbiology, v. 99, n. 5, p. 1236–1245, nov. 2005.

GOVINDASAMY-LUCEY, S.; JAEGGI, J. J.; BOSTLEY, A. L.; JOHNSON, M. E.; LUCEY, J. A. Standardization of milk using cold ultrafiltration retentates for the manufacture of parmesan cheese. Journal of Dairy Science, v. 87, p. 2789-2799, 2004.

JAN, G.; ROUAULT, A.; MAUBOIS, J. L. Acid stress susceptibility and acid adaptation of *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*. Lait, v. 80, n. 3, p. 325–336, 2000.

KURMINDLA, H. K.; CHAVANNAVAR, S. V.; BHARATHULA, S.; RAYASANDHRA, A. U.; DESHPANDE, B. Vitamin B12 enriched milk based nutraceutical production using *Propionibacterium freudenreichii*. The Pharma Innovation Journal, v. 11, n. 5, p. 46-50, 2022.

MANTEL, M.; DURAND, T.; BESSARD, A.; PERNET, S.; BEAUDEAU, J.; GUIMARAES-LAGUNA, J.; MAILLARD, M.-B.; GUÉDON, E.; NEUNLIST, M.; LE LOIR, Y.; JAN, G.; ROLLI-DERKINDEREN, M. *Propionibacterium freudenreichii* CIRM-BIA 129 mitigates colitis through S layer protein B-dependent epithelial strengthening. American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology, v. 326, n. 2, p. G163–G175, 2024. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00198.2023>

MISME-AUCOUTURIER, B.; GAGNAIRE, V.; LECORRE, E.; DECARVALHO, M.; JAN, G.; BOUCHAUD, G. *Propionibacterium freudenreichii* Prevents Food Allergy in Mice via the Surface Layer Protein SlpB. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 72, p. 27495–27503, 2024. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c09165>

NOËL, Y.; ZANNONI, M.; HUNTER, E. A. Texture of parmigiano Reggiano cheese: statistical relationships between rheological and sensory variates. Lait, v. 76, p. 243-254, 1996.

OJALA, T.; LAINE, P. K. S.; AHLROOS, T.; TANSKANEN, J.; PITKÄNEN, S.; SALUSJÄRVI, T.; KANKAINEN, M.; TYNKKYNEN, S.; PAULIN, L.; AUVINEN, P. Genome sequencing and transcriptome profiling of *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *shermanii* JS in cheese ripening. International Journal of Food Microbiology, v. 241, p. 39–48, 2017.

PAGTHINATHAN, M.; NAFEES, M. S. M. Biochemistry of cheese ripening. AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences, v. 10, n. 0, p. 16, 13 jan. 2017.

PEREIRA, A. S.; SHITSUKA, D. M.; PARREIRA, F. J.; SHITSUKA, R. Metodologia da pesquisa científica. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria. 2018.

PERKO, B. Lactose fermentation at Camembert, made by classic and stabilized technology. *Mljekarstvo*, v. 52, n. 1, p. 5-18, 2002.

PERRY, K. S. P. Queijos: Aspectos Químicos, Bioquímicos e Microbiológicos. *Revista Química Nova*, v. 27, n. 2, p. 293-300, 2004.

PIWOWAREK, K.; LIPÍŃSKA, E.; HAĆ-SZYMAŃCZUK, E.; KOT, A. M.; KIELISZEK, M.; BONIN, S. Use of *Propionibacterium freudenreichii* T82 Strain for Effective Biosynthesis of Propionic Acid and Trehalose in a Medium with Apple Pomace Extract and Potato Wastewater. *Molecules*, v. 26, n. 13, p. 1-14, 2021a.
<http://doi.org/10.3390/molecules26133965>

PIWOWAREK, K.; LIPÍŃSKA, E.; HAĆ-SZYMAŃCZUK, E.; POBIEGA, K. Propionic acid production from apple pomace in bioreactor using *Propionibacterium freudenreichii*: an economic analysis of the process. *3 Biotech*, v. 11, n. 2, p. 1-15, 2021b.
<http://doi.org/10.1007/s13205-020-02582-x>

POLOWSKY, P. J.; KINDSTEDT, P. S.; HUGHES, J. M. Size, shape, and identity of surface crystals and their relationship to sensory perception of grittiness in soft smear-ripened cheeses. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 12, p. 10720-10732, 2018.
<http://doi.org/10.3168/jds.2018-15165>

ROCCHETTI, G.; FANCELLO, F.; ZARA, G.; HATAMI, F.; CORONAS, R.; GIACOMO, L. P.; ERRICO, M.; LUCINI, L.; GALLO, A.; ILARIA MANNAZZU. Fermentation of second cheese whey by *Propionibacterium freudenreichii*: Metabolomic profiling and pathway insights for valorization. *Food Research International*, v. 217, p. 116838–116838, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116838>

RODOVALHO, V. R.; RODRIGUES, D. L. N.; JAN, G.; LOIR, Y. L.; AZEVEDO, V. A. C.; GUÉDON, E. *Propionibacterium freudenreichii*: General Characteristics and Probiotic Traits. ROBLES, E. F. *Prebiotics and Probiotics - From Food to Health*. IntechOpen; 2022.
<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.97560>

ROSSI, F.; SANTONICOLA, S.; GIACCONE, V.; TRUANT, A.; COLAVITA, G. Dairy Ropionibacteria: Probiotic Properties and Their Molecular Bases. *Biomolecules*, v. 15, n. 6, p. 886–886, 2025. <https://doi.org/10.3390/biom15060886>

ROTHER, E. T. Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 20, n. 2, p. v-vi, 2007.

SILVA, L. R.; VILELA, D. M. Tecnologia de chá e seus processos: uma revisão. *Revista UNINGÁ Review*, v. 34, n. 2, p. 39-50, 2019.

THIERRY, A.; DEUTSCH, S.-M.; FALENTIN, H.; DALMASSO, M.; COUSIN, F. J.; JAN, G. New insights into physiology and metabolism of *Propionibacterium freudenreichii*. *International Journal of Food Microbiology*, v. 149, p. 19-27, 2011.

THIERRY, A.; MAILLARD, M. B. Production of cheese flavour compounds derived from amino acid catabolism by *Propionibacterium freudenreichii*. *Lait*, v. 82, p. 17-32, 2002.

TURGAY, M.; IRMLER, S.; ISOLINI, D.; AMREIN, R.; FRÖHLICH-WYDER, M.-T.; BERTHOUD, H.; WAGNER, E.; WECHSLER, D. Biodiversity, dynamics, and characteristics of *Propionibacterium freudenreichii* in Swiss Emmentaler PDO cheese. *Dairy Science & Technology*, v. 91, p. 471–489, 2011.

WANG, Z.; YANG, S.-T. Co-fermentation of glycerol and glucose for enhanced propionic acid production by *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*. *Bioresource Technology*, v. 137, p. 116–123, 2013.

WU, Y.; WANG, T.; JIN, Y.; ZHANG, Y.; XU, D.; XU, X. Biopreservation technology of sourdough co-fermented with *Fructilactobacillus sanfranciscensis* and *Propionibacterium freudenreichii*: Effects and mechanisms for enhancing bread quality and extending shelf life. *Food Research International*, v. 219, p. 117001–117001, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.117001>

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES — código 001) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: 141413/2019-0).