

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁCTICAS EM LACTICÍNIOS: REVISÃO

Technological properties of lactic acid bacteria in dairy products: a review

Carlos Henrique Gomes de Sousa Lima^{1}, Josiane da Silva Costa¹,
Nádia Carbonera², Elizabete Helbig¹*

RESUMO

As bactérias ácido-lácticas (BAL) são um grupo de microrganismos conhecidos como seguros, e que devido aos seus inúmeros metabólitos, contribuem na biopreservação e/ou oferecimento de vantagens nos aspectos organolépticos, tecnológicos, nutricionais ou fisiológicos, e assim, sendo muito aplicável pela indústria láctea. A presente revisão apresenta as características de elevado potencial para seleção de cepas para a indústria de laticínios, como ação antimicrobiana, produção de bacteriocinas, compostos aromáticos, exopolissacarídeos, atividade proteolítica e lipolítica, tolerância ao cloreto de sódio e ação acidificante. Dessa forma, o estudo objetivou relatar aspectos importantes de pesquisas que conduzam à avaliação de BAL com efeitos tecnológicos desejáveis para formulação de produtos com alto valor agregado.

Palavras-chave: biopreservação; qualidade; composto bioativo; biotecnologia.

ABSTRACT

The lactic acid bacteria (LAB) are a group of microorganisms known to be safe, which, due to their numerous metabolites, contribute to the biopreservation and/ or offer advantages in organoleptic, technological, nutritional, or physiological aspects, and thus, being very applicable by the dairy industry. The present review presented the characteristics of high potential for the selection of strains for the dairy industry, such as antimicrobial action, production of bacteriocins, aromatic compounds, exopolysaccharides, proteolytic and lipolytic activity, sodium chloride tolerance, and acidifying action. Thus, the study aimed to evaluate the importance of research that leads to the assessment of LAB with desirable technological effects for the formulation of products with high added value.

Keywords: biopreservation; quality; bioactive compound; biotechnology.

1 Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Nutrição, Rua Gomes Carneiro, nº 1, Porto, 96010-610, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: carloshgsl@hotmail.com

2 Universidade Federal de Pelotas, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Pelotas, RS, Brasil.

*Autor para correspondência

Recebido / Received: 19/01/2021

Aprovado / Approved: 28/04/2021

INTRODUÇÃO

Bactérias ácido-láticas (BAL) são definidas como um grupo de cocos e bastonetes Gram-positivos, catalase negativa, não esporuladas, aeróbias, microaerófilas ou anaeróbias facultativas e capazes de produzir ácido láctico como o principal produto final durante a fermentação de carboidrato-

tos (LAHTINEN *et al.*, 2012). As BAL tornaram-se muito importantes na indústria de alimentos e na saúde pública devido ao seu estado como GRAS (Geralmente reconhecidas como seguras), o que possibilita sua utilização para o consumo humano, e possuem um papel importante nos processos fermentativos e de biopreservação de alimentos, seja como microbiota autóctone, cultivos iniciadores (*starters*) ou adjuntos (*costartners*) adicionados sob condições adequadas (PEREIRA *et al.*, 2019).

Entre as principais fontes dessas bactérias, encontram-se os produtos lácteos fermentados, como queijos, kefir, iogurte, coalhada, leites fermentados, dentre outros. Esses produtos possuem alta aceitabilidade e são fontes de diversos nutrientes, alguns com propriedades funcionais inerentes à saúde humana, além de serem os principais representantes dos probióticos em alimentos, proporcionando inúmeros efeitos benéficos à saúde do hospedeiro, o que contribui para o estudo por novas linhagens com essas características (MONTET; RAY, 2016).

Como pontos tecnológicos cruciais, as cepas devem promover a acidez necessária para ocorrência da coagulação do leite, e, dessa forma serem capazes de promover um ambiente desfavorável para a multiplicação de estirpes patogênicas (HAMMAMI *et al.*, 2019). Seu efeito antagônico contra microrganismos patogênicos e deteriorantes é fortalecido pelos efeitos inibitórios de diversos metabólitos, como ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio, dióxido de carbono, diacetil, ácidos graxos, compostos antifúngicos, bacteriocinas e substâncias inibidoras semelhantes às bacteriocinas (BLIS) (FAVARO *et al.*, 2015). Outra propriedade importante das BAL na matriz láctea é a capacidade de produzir proteases extracelulares e enzimas lipolíticas, contribuindo para o processo de maturação dos queijos e na formação do

sabor e aroma típicos desses produtos; produção de exopolissacarídeos, garantindo aspectos funcionais e como agente espessante, além de sua ampla faixa de tolerância ao cloreto de sódio (LAHTINEN *et al.*, 2012).

Devido aos inúmeros aspectos tecnológicos que apresentam, as BAL são bastante estudadas e utilizadas pela indústria de laticínios, contribuindo na preservação e/ou oferecendo uma, ou mais vantagens em elementos organolépticos biotecnológicos, nutricionais ou fisiológicos (DOMINGOS-LOPES *et al.*, 2017). Sua aplicabilidade é uma alternativa importante a ser considerada para a formulação de novos alimentos funcionais, de grande relevância e com menor utilização de compostos sintéticos para sua conservação, tornando-os mais atraentes para a população e indústria alimentícia. Com isso, o estudo objetivou avaliar a importância de pesquisas que conduzam à avaliação de BAL com efeitos tecnológicos desejáveis para formulação de produtos com alto valor agregado.

BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁCTICAS: CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS

As BAL estão compreendidas pelo Reino *Bacteria*, Filo *Firmicutes* e Classe *Bacilli* e Ordem *Lactobacillales*, sendo esta subdividida em 6 Famílias: *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Leuconosocaceae* e *Streptococcaceae*. Dentre os principais gêneros do grupo das bactérias lácticas estão *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Aerococcus*, *Pediococcus*, *Tetragenococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissella*, *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Streptococcus* e *Vagococcus* (LAHTINEN, 2012).

O gênero *Bifidobacterium* é historicamente considerado como pertencente ao grupo das BAL. Embora as espécies se encaixem na descrição geral, elas são filogeneticamente mais relacionadas ao grupo *Actinomycetaceae* de bactérias Gram-positivas. Além disso, eles têm um caminho especial para a fermentação do açúcar, exclusivo do gênero, que os separa do grupo das BAL (HOLZAPFEL; WOOD, 2014).

O sistema de classificação ao nível de gênero divide os microrganismos, primeiramente, de acordo com a morfologia, em bastonetes (*Lactobacillus* e *Carnobacterium*) e cocos (os demais).

A diferenciação também ocorre pelo modo de fermentação da glicose sob condições normais (fatores de multiplicação como aminoácidos, vitaminas e precursores de ácidos nucleicos, e limitada capacidade de avaliação de oxigênio). Nestas condições, as BAL podem ser divididas em dois grupos: bactérias heterofermentativa (*Leuconostocs*, *Oenococcus*, *Wiesellas*, e um subgrupo de *Lactobacillus*) capazes de produzir não só ácido-lático, mas etanol/ácido acético e dióxido de carbono, e as homofermentativas (os outros gêneros), aptas a converter quase que exclusivamente açúcar em ácido-lático (HOLZAPFEL; WOOD, 2014).

As BAL são mesófilas, porém, possuem a capacidade de se multiplicar em diferentes temperaturas entre 5 e 10 °C a 45 °C. Essa característica é usada principalmente para distinguir entre alguns cocos. Os enterococos podem se multiplicar a 10 °C e 45 °C, lactococos e vagicocos a 10 °C, mas não a 45 °C; os estreptococos geralmente não crescem a 10 °C, enquanto a multiplicação a 45 °C é dependente da espécie (FELIS *et al.*, 2015). Quanto a tolerância ao sal (6,5% NaCl) também pode ser usado para distinguir entre enterococos, lactococos, vagicocos e estreptococos, embora a reação variável possa ser encontrada entre os estreptococos. A maioria das espécies são inibidas em concentrações superiores a 6,5% de NaCl, mas já concentrações extremas (18% NaCl) é característica ao gênero *Tetragenococcus*. Algumas linhagens apresentam capacidade de crescimento em pH 4,0 a 4,5 e outras em pH 3,8 a 9,8 (LAHTINEN *et al.*, 2012).

Por meio do desenvolvimento das ferramentas moleculares e da caracterização genética, o conhecimento atual sobre a relação filogenética das bactérias baseia-se principalmente na análise comparativa da sequência do RNA ribossomal 16S, ou 16S rRNA, o que permite um reordenamento da sua nomenclatura e identificação de novos grupos (HOLZAPFEL; WOOD, 2014).

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE BAL

Ação antimicrobiana

O uso de microrganismos para a conservação de alimentos tem ganhado importância nos últimos anos devido à demanda pela redução de

conservantes químicos pelos consumidores, na busca por produtos mais saudáveis, e pelo aumento crescente de espécies bacterianas resistentes a antibióticos e a conservantes. As BAL são capazes de produzir vários compostos antimicrobianos que são considerados importantes na bio-preservação dos alimentos, além de rentáveis economicamente e potencialmente seguras, após realização de ensaios clínicos randomizados, controlados e com grandes populações (FOX *et al.*, 2017; VARSHA; NAMPOOTHIRI, 2016).

Metabólitos antimicrobianos, como ácidos orgânicos (lático, fórmico, acético, propiônico, benzóico e fenilacético), ácidos graxos de cadeia curta, peróxido de hidrogênio, reuterina, diacetil, compostos antifúngicos, bacteriocinas e substâncias inibidoras semelhantes às bacteriocinas, são alguns dos produtos metabólicos dessas bactérias que sugerem ter potencial efeito antimicrobiano (HAMMAMI *et al.*, 2019). Os possíveis mecanismos de ação dos principais metabólitos antimicrobianos estão elucidados na Tabela 1.

Produção de bacteriocinas

Bacteriocinas são peptídeos sintetizados pelos ribossomos que possuem atividade antibacteriana (CLEVELAND *et al.*, 2001). Apesar da maioria das bactérias Gram-positivas produzirem bacteriocinas, são as BAL as mais estudadas, pelo seu nível de segurança e comumente serem isoladas de fontes alimentares (FELIS *et al.*, 2015).

As bacteriocinas de BAL são inerentemente tolerantes ao estresse térmico elevado e são conhecidas por sua atividade em uma ampla faixa de pH. Estes peptídeos antimicrobianos também são incolores, inodoros e insípidos, o que aumenta sua potencialidade (SYNDER; WOROBO, 2013). Além disso, sua resistência a altas temperaturas e pH baixo e ainda a sua sensibilidade às enzimas proteolíticas humanas, são características úteis na aplicação desses compostos na preservação de alimentos (MASUDA *et al.*, 2011).

As bacteriocinas nisina, pediocina PA-1, lacticina 3147 e enterocinas isoladas ou combinadas com outros tratamentos podem representar um avanço promissor para a segurança microbiológica e manutenção de propriedades sensoriais (SILVA *et al.*, 2018; SOBRINO-LÓPEZ; MARTÍN-BELLOSO, 2008).

Tabela 1. Resumo dos mecanismos de ação antimicrobiana de metabólitos de BAL

Compostos antimicrobianos	Mecanismos de ação
Ácidos orgânicos [ácido-lático]	O ácido láctico, além de suas propriedades antimicrobianas devido à diminuição do pH, também funciona como um permeabilizante da membrana externa bacteriana Gram-negativa e pode atuar como um potencializador dos efeitos de outras substâncias antimicrobianas em produtos fermentados de pH obtidos por BAL iniciadoras. A presença de ácido láctico é capaz de favorecer que numerosos metabólitos lipofílicos ou grandes, possam penetrar eficazmente na intacta membrana externa Gram-negativa bacteriana (ALAKOMI <i>et al.</i> , 2000).
Peróxido de hidrogênio	O efeito bactericida do peróxido de hidrogênio está relacionado ao seu forte efeito oxidativo na célula bacteriana, à peroxidação de lipídios da membrana e à destruição de estruturas moleculares básicas das células (GEMECHU, 2015).
Bacteriocinas	Modulação da atividade enzimática, inibição do crescimento de esporos e da síntese de peptidoglicano, capaz de favorecer a formação de poros na membrana citoplasmática, após interação com lipídeo II, o precursor essencial da parede celular, e consequente efluxo de metabólitos intracelulares, resultando na despolarização da membrana e, consequente apoptose (PEREZ <i>et al.</i> , 2018).
Ácidos graxos de cadeia curta	Um mecanismo que tem sido proposto para ácidos graxos de cadeia curta com atividade antifúngica é que a atividade é devida a propriedades do tipo detergente dos compostos, afetando a estrutura das membranas celulares dos organismos alvos. Isso acarreta a permeabilidade da membrana e a liberação de eletrólitos e proteínas intracelulares e, geralmente, leva à desintegração citoplasmática das células fúngicas (POHL <i>et al.</i> , 2011).
Diacetil	Atividade antimicrobiana do diacetil pode ser exercida pela inativação da utilização de arginina, através de sua reação com a proteína de ligação à arginina, provocando choque osmótico (JAY, 2005).
Reuterina	Sua atividade é atribuída principalmente à sua capacidade de reagir com grupos sulfidrila de aminoácidos, inativando-os e desencadeando uma resposta ao estresse oxidativo (SCHAEFER <i>et al.</i> , 2010).

Contudo, a nisina produzida por *Lactococcus lactis*, é a única bacteriocina considerada segura para o consumo humano de acordo com a *Food and Drug Administration*, por ser degradada por enzimas proteolíticas no trato gastrointestinal e não formar compostos secundários, além de contribuir para descontaminação ou controle do

crescimento de *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum* e *Staphylococcus aureus* (CHEN; HOOVER, 2003).

A adição de agentes quelantes, como ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), tem sido eficaz para alterar a estabilidade e causar danos à membrana externa das células das bactérias

Gram-negativas, tornando-as suscetíveis às bacteriocinas. A utilização complementar de óleos essenciais, hipoclorito de sódio e outros tratamentos de conservação e processamento de alimentos também tem sido utilizado como potencializadores da atividade do peptídeo antimicrobiano (PRUDÊNCIO *et al.*, 2015). A aplicabilidade da nisina com fitoquímicos, curcumina, cinamaldeído, ou com óleos essenciais de tomilho e erva-príncipe, são exemplos inovadores de como potencializar sua ação contra microrganismos patogênicos e deteriorantes (SHARMA *et al.*, 2020; KRYSHEN A., 2016).

Um novo nicho de mercado é a aplicabilidade de bacteriocinas em filmes e revestimentos bioativos, aplicados diretamente nas superfícies e nas embalagens dos alimentos, no intuito de garantir a segurança de produtos lácteos. Recentemente, Freitas *et al.* (2020) estudaram a eficácia de um filme antimicrobiano biodegradável pela incorporação de Nisina Z sob diferentes concentrações (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) em matriz de hidróxi-propil-metil-celulose na preservação de queijos muçarela. O biofilme a 10% foi avaliado em fatias de muçarela durante 8 dias de estocagem, e constatou-se uma maior atividade de inibição em microrganismos mesófilos, sem perda de propriedades mecânicas durante o armazenamento, configurando um positivo parâmetro para aplicabilidade na produção de queijos.

Produção de compostos aromáticos

A acidificação do meio e os processos enzimáticos que normalmente acompanham a multiplicação das BAL, contribuem para as características de aroma, textura e preservação da qualidade microbiológica dos alimentos fermentados (KLAENHAMMER *et al.*, 2005). Na indústria alimentícia algumas BAL heterofermentativas são mais importantes que as homofermentativas, como exemplo na produção de compostos que favoreçam a intensificação do sabor e aroma, como diacetil e acetaldeído por meio da fermentação de citratos, e produzir dióxido de carbono, capaz de formar as “olhaduras” de certos queijos e o caráter espumoso de alguns leites fermentados (FOX *et al.*, 2017).

As cepas *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* Biovar *Diacetylactis* e *Leuconostoc citrovorum*

são mencionadas na literatura pela alta capacidade em metabolizar o citrato em diacetil, gás carbônico, acetaldeído e acetoina. A incorporação dessas variedades como culturas adjuntas, podem aumentar o sabor “amanteigado” em iogurtes, melhorando alguns aspectos de qualidade (MSTRIGT *et al.*, 2018).

Outras cepas produtoras de diacetil são encontradas em fontes lácteas selvagens, como em estudo realizado por Londoño-Zapata *et al.* (2017), avaliando a caracterização e propriedades tecnológicas de BAL em três amostras de queijos tradicionais colombianos. Nesse estudo, por método qualitativo detectaram *Pediococcus acidilactici*, *Leuconostoc mesenteroides* e *Leuconostoc citreum* como produtoras de diacetil.

Em outro estudo elaborado por Domingos-Lopes *et al.* (2017) com queijos artesanais de Açores, Portugal, de 114 cepas isoladas, 87% apresentaram resultado positivo por método fenotípico de identificação em placa de Petri, sendo essa capacidade, espécie e cepa dependente *Leuconostoc* (60%), *Lactococcus* (33%), *Lactobacillus* (82%) e *Enterococcus* (92%). Queijos artesanais brasileiros também se apresentaram como uma fonte próspera de BAL produtoras do composto aromático (MARGALHO *et al.*, 2020).

Produção de Exopolissacarídeos

Os exopolissacarídeos (EPS) podem ser definidos como biopolímeros associados ao envelope celular ou liberados no meio extracelular, produzidos por vários microrganismos, como bactérias, fungos e algas verde-azuladas, (BADEL *et al.*, 2011). EPS são de elevado massa molecular, de cadeia longa, lineares ou ramificados consistindo em unidades de sacarídeo repetidas com frequência, ou derivados de sacarídeo por ligações α e β -glicosídeo. Entre a grande variedade de microrganismos produtores de EPS, encontram-se as BAL, principalmente os gêneros *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus* e *Leuconostoc* (RUAS-MADIEDO *et al.*, 2006).

BAL produtoras de EPSs são tradicionalmente conhecidas por desempenhar um papel nas características reológicas e sensoriais de produtos lácteos fermentados (GAWAI *et al.*, 2017), mas também de promoção à saúde humana como fonte

prebiótica ou devido a atividades antitumorais, imunomoduladoras, anticolesterolêmica ou de diminuição da resposta inflamatória causada por *Helicobacter pylori* (NWODO *et al.*, 2012).

O efeito da produção de EPSs por *Lactobacillus plantarum* em queijos com baixo teor de gordura conferiu em produtos com melhor umidade, proteólise, qualidades sensoriais, e com menor dureza e coesão, mas também apresentaram atividade anti-hipertensiva em decorrência da inibição da enzima conversora da angiotensina (AYYASH *et al.*, 2018; AL-DHAHERI *et al.*, 2017). Em iogurtes produzidos com *Streptococcus thermophilus* com elevada produção de EPSs, aliados a *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgarius* conferiu menor sinérese, melhor textura e qualidades sensoriais, diminuindo a necessidade de estabilizantes, como pectina, gelatina e amido (HAN *et al.*, 2016).

Devido à natureza hidrocolóide de EPS, Graça *et al.* (2020) avaliaram a aplicabilidade de iogurtes em pães livres de glúten, onde constataram que a concentração láctea de 20% p/p da massa total, resultou em pães macios, com maior volume, menor taxa de endurecimento, aumento do valor nutricional e com menor carga glicêmica em relação ao controle. Destacando como um substituto natural para as gomas comerciais e na adoção de produtos livres de glúten.

Atividade proteolítica e lipolítica

O processo proteolítico envolve a ação de enzimas encontradas naturalmente no leite como a plasmina, no coalho e nas moléculas microbianas intracelulares, proteinases e peptidases, produzidas por BAL adicionadas na fabricação. A proteólise envolve a desestabilização da micela de caseína por meio da liberação de peptídeos e aminoácidos que passam por um processo catabólico, formando assim, outros compostos voláteis, como aminas, ácidos, tióis e ésteres, contribuindo no aroma desejável (FOX *et al.*, 2017; EL GALIOU *et al.*, 2013). Essa atividade pode aumentar a capacidade do coágulo em ligar água devido à quebra da rede proteica, melhorando o desenvolvimento da textura dos queijos (McSWEENEY, 2004). Uma das maneiras mais eficazes de aumentar a quantidade de peptídeos bioativos é a uti-

lização de cepas altamente proteolíticas no processo fermentativo, imunomoduladoras, anticarcinogênica, anti-hipertensiva, antioxidante, antimicrobiana entre outras (VENEGAS-ORTEGA *et al.*, 2019; RAMCHANDRAN; SHAH, 2008).

Bezerra *et al.* (2016) verificaram os efeitos proteolíticos na adição de culturas probióticas isoladas e combinadas na fabricação de queijo coalho de cabra. O queijo preparado com diferentes culturas probióticas apresentaram vantagens no processo proteolítico em relação ao queijo preparado com a cultura iniciadora (*L. lactis* subsp. *Lactis* e *L. lactis* subsp. *cremoris*). O uso combinado de culturas probióticas promoveu aumento do teor de proteína solúvel e apresentou maior liberação de aminoácidos no primeiro dia após o processamento.

Os agentes lipolíticos presentes no queijo são enzimas lipolíticas encontradas naturalmente no leite (lipase), coalho (esterases pré-gástricas) e microflora (lipases e esterases), desencadeando a hidrólise de mono, di e triacilgliceróis para liberar ácidos graxos livres e glicerol, contribuindo no desenvolvimento do *flavor* típico do produto (BLAYA *et al.*, 2018; LAZZI *et al.*, 2016; EL GALIOU *et al.*, 2013).

A realização de reações únicas de transformação de ácidos graxos, como isomerização, hidratação, desidratação e saturação, propõe as BAL a novos nichos como catalisadoras e probióticos. Como potencial à saúde, há a produção de ácido linoleico conjugado a partir de ácido linoleico livre, com capacidade de redução de carcinogênese, aterosclerose e gordura corporal (OGAWA *et al.*, 2005).

De acordo com Lazzi *et al.* (2016), a composição microbiana mais complexa pode favorecer uma maior quantidade de cetonas, álcoois, hidrocarbonetos, ácido acético e ácido propiônico, causada pela lise de BAL iniciadoras e multiplicação de BAL adjuntas durante o processo de maturação. Em iogurtes, a contribuição da lipólise no sabor é limitada, em comparação com a sua contribuição para queijos de longa maturação (CHEN *et al.*, 2017). Em geral, as BAL possuem esterases intracelulares, com exceção da atividade de extracelular de *Lactobacillus fermentum* e *Micrococcus* spp., sendo incapazes de hidrolisar os triacilgliceróis, até a liberação por lise celular.

Tolerância ao cloreto de sódio

O sal apresenta um papel crucial no processamento de queijos, garantindo uma maior prolongação da vida de prateleira, características organolépticas típicas do produto e uma fonte de sal dietético. O processo de salga permite um melhor controle microbiológico, e a ocorrência de processos bioquímicos, como redução da atividade de água e melhor sinérese do produto, contribuem na sua durabilidade (GUINEE; O'KENNEDY, 2007).

A maioria das BAL são insensíveis a variações de pressão osmótica, e são capazes de se adaptarem a oscilações na concentração de solutos do meio, já que possuem uma parede celular rígida, porém, a condição máxima de tolerância hipertônica é em torno de 7% (MANTILLA; PORTACIO, 2012).

Queijos com maior teor de sal (~3,0%), ao derreterem, apresentam maior viscosidade aparente, menor nível de óleo livre, e são mais resistentes e mastigáveis em relação a queijos com baixo teor de sal (~0,4%), aos quais apresentaram característica mais lisa, fluida e gelatinosa (GUINEE, 2004). Esse efeito segundo Cheftel *et al.* (1989), refere-se sobre a atuação de íons sobre a absorção de água e a solubilidade proteica. Concentrações baixas de sal podem levar a uma maior solubilidade (efeito *salting in*) devido ao aumento da solvatação, ou seja, acúmulo de osmólitos sobre macromoléculas. Já concentrações mais elevadas, prevalecem interações água-sal, em detrimento das interações água-proteína (efeito *salting out*), reduzindo a solubilidade, estabilidade e propriedades emulsificantes.

Para Kristensen *et al.* (2020), a utilização de cepas mais sensíveis aos teores de NaCl pode aumentar a autólise e a liberação de enzimas intracelulares e desencadear maior amargor, provocando defeitos sensoriais. Contudo, espera-se que o emprego adequado das culturas iniciadoras possa competir com a microbiota típica e desempenhar suas atividades metabólicas desejáveis nas condições prevalentes.

Ação acidificante

A lactose é geralmente metabolizada pela via glicolítica nos estágios iniciais da maturação do queijo, resultando em uma diminuição no pH

(MARTINOVIC *et al.*, 2018). Segundo a literatura, a atividade acidificante de cada cepa está relacionada com sua capacidade específica para quebrar as substâncias no meio e torná-las assimiláveis para seu metabolismo (SAVIJOKI *et al.*, 2006). As BAL denominadas rápidas acidificantes e com intensidade de produção de ácidos, tem potencial tecnológico como culturas iniciadoras ou adjuntas, contribuindo na formulação de alimentos com qualidade e características que identifiquem a região onde foi produzido (PASQUALE *et al.*, 2019).

Quando a produção de ácido-lático é suficiente, a caseína coagula no seu ponto isoelétrico (pH 4,6), ocasionando firmeza da coalhada e controle de contaminantes indesejáveis, visto sua maior tolerância em faixas de pH próxima à neutralidade ou em condições ligeiramente alcalinas para seu crescimento (PASQUALE *et al.*, 2019). Assim, controlar a acidificação nas etapas iniciais da fabricação de queijos também é um fator limitante para impedir o crescimento de *L. monocytogenes* (ØSTERGAARD *et al.*, 2014). Todavia as BAL com atividade lenta podem ser utilizadas como culturas adjuntas para equilibrar o teor de umidade em produtos lácteos (PEREIRA *et al.*, 2019).

A pós-acidificação é a acidez produzida após o período de incubação, ou seja, no decorrer do resfriamento, armazenamento, e distribuição até o consumo do produto. A sua intensidade em iogurtes depende da capacidade de acidificação das culturas, etapa de fermentação nos tanques, resfriamento, temperatura de armazenamento, condições de embalagem e do valor de pH inicial (MOREIRA *et al.*, 1999). Nesses produtos, a consistência está relacionada com a acidez que se altera no período de armazenamento, em maior ou menor grau, dependendo do valor inicial e da temperatura de estocagem do produto, entre 2 e 5 °C (SPREER, 2017). Como parâmetro de controle de qualidade, os iogurtes devem apresentar durante toda a vida útil de 0,6 a 1,5g de ácido lático/100g, conforme a Instrução Normativa n.º 46, de 23 de outubro de 2007 (BRASIL, 2006).

EMPREGABILIDADE DE BAL NA INDÚSTRIA LÁCTEA

As BAL podem favorecer diversos benefícios para os produtos lácteos, diminuindo a utili-

zação de aditivos alimentares e sintéticos, como agentes antimicrobianos e antioxidantes. Seu uso deve-se ao fato de impedir a deterioração dos produtos alimentícios e garantir as qualidades organolépticas durante sua vida útil. A demanda para redução do uso de aditivos confirma-se pela preferência do consumidor por alimentos frescos, seguros, saborosos, com teores reduzidos em açúcar, gordura e sal e que também possam garantir efeitos fisiológicos desejáveis à saúde (CAROCHO *et al.*, 2015). Em parte, evidenciada pelo aumento global das Doenças Crônicas não Transmissíveis (DCNT), sendo os quatro principais tipos: cardiovasculares, cânceres, respiratórias crônicas e diabetes, e seus fatores de risco modificáveis: tabagismo, álcool, inatividade física, alimentação não saudável e obesidade (MALTA; SILVA JR., 2014).

Dessa forma, mostra-se evidente a importância da indústria de alimentos em contribuir com estudos e desenvolvimento de produtos que contribuam com as demandas do mercado e a saúde da população. A utilização de BAL com efeitos fisiológicos desejáveis à saúde, ou potencialmente probióticas, e propriedades tecnológicas, organolépticas e nutricionais contribuem para a formulação de produtos com alto valor agregado (DOUILLARD; DE VOS, 2014). O emprego das BAL é uma alternativa importante a ser considerada para a formulação de novos produtos lácteos funcionais, com menor utilização de compostos sintéticos para sua conservação, tornando-os mais atraentes para a população e indústria de alimentos, e de grande relevância e competitividade com o mercado (inter) nacional, conforme os estudos destacados na Tabela 2.

Tabela 2. Exemplos de aplicabilidade de BAL na indústria láctea

Lácteo/País	Cepa/Propriedade	Autores
Queijo Crescenza de alta umidade; Itália	<i>S. thermophilus</i> Alta resistência a fagos, rápida acidificação, baixa capacidade de crescimento em temperaturas abaixo de 20 °C, incapacidade de baixar o pH a 4 °C ou na presença de 2% de NaCl	TIDONA <i>et al.</i> (2020)
Queijo Coalho; Brasil	<i>E. faecium</i> Aumento no teor de ácido láctico, ausência de ácido cítrico, manutenção da cor e aceitabilidade sensorial.	MACHADO <i>et al.</i> (2021)
Queijo Cheddar funcional; China	<i>Lb. helveticus</i> Viabilidade durante o armazenamento; identificação de peptídeos bioativos com atividade antioxidante.	YANG <i>et al.</i> (2021)
Creme fermentado com ácidos graxos insaturados bioativos; Brasil	<i>Ln. mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroids</i> SJRP55 Redução na população de <i>L. monocytogenes</i> ; aumento no teor de ácido linoleico conjugado, diminuição do conteúdo de ácidos α -linolênico e oleico.	BORGES <i>et al.</i> (2019)
Queijo muçarela probiótico; Paquistão	<i>Lb acidophilus</i> Promoção da vida útil; aumento da qualidade organoléptica.	MUKHTAR <i>et al.</i> (2020)
Queijo com aumento no teor de ácido linoleico conjugado; Espanha	<i>Lb. plantarum</i> L200 Capacidade de converter o ácido linoleico em ALC; isômero cis-9, trans-11 C18: 2 como o mais abundante.	ARES-YEBRA <i>et al.</i> (2019)

Continuação da Tabela 2.

Queijo artesanal das Terras Altas da Mantiqueira; Brasil	Cápsulas contendo <i>Lactobaciillus</i> spp., <i>Streptococcus</i> spp. e <i>Bifidobacterium</i> spp. Redução da carga microbiana de <i>Enterobacter</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Kluyvera</i> e <i>Obesum-bacterium</i> durante processo de maturação.	PEHRSON (2017)
Iogurte hiperproteico; Brasil	<i>Lb. helveticus</i> LH-B02 Formação de fragmentos bioativos; aumento da atividade da enzima conversora da angiotensina; a adição de caseinato de cálcio pode favorecer o potencial funcional.	CAVALHEIRO <i>et al.</i> (2020)
Iogurte com elevado teor de EXO; China	<i>S. thermophilus</i> zlw TM11 e <i>Lb. delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgarius</i> 3 4.5 Redução da utilização de estabilizantes devido a melhor textura e menor separação do soro; uso como cepa iniciadora.	HAN <i>et al.</i> (2016)
Fermentado com cultura microencapsulada; Indonesia	<i>Lb. plantarum</i> VP-3.3 e <i>S. thermophilus</i> Viabilidade durante a refrigeração; viscosidade; estabilidade do pH; melhor teor de sólidos totais.	ROSSI <i>et al.</i> (2021)
Iogurte com baixo teor de açúcares totais; China	<i>Lb. plantarum</i> WCFS1 Redução maior do teor de açúcares; menor sinérese; parâmetros sensoriais (aparência, textura e sabor) com boa aceitação.	ZHANG <i>et al.</i> (2020)
Bebida funcional com elevado teor de peptídeos bioativos e GABA; Egito	Culturas proteolíticas <i>Lb. rhamnosus</i> NRRL B-1445; <i>Lb. helveticus</i> Lh-B 02; <i>Lc. cremoris</i> O-114; <i>Lc. Lactis</i> O-114 Iogurtes produzidos com concentrado proteico do soro (53%), apresentaram maior propriedade funcional e viscosidade; a atividade GABA de todos os iogurtes aumentaram após 14 dias de armazenamento refrigerado.	EL-FATTAH <i>et al.</i> (2018)
Iogurte com melhora no perfil aromático; China	Co-culturas <i>Lb. plantarum</i> (1-33 e 1-34) Capacidade de manutenção da viabilidade sem afetar o perfil de acidificação; influência nas características organolépticas pela formação de compostos voláteis, como acetaldeído, diacetil e acetoína.	TIAN <i>et al.</i> (2019)
Sorvete probiótico; Brasil	<i>Lb. paracasei</i> DTA 83 Viabilidade do microrganismo em sorvete à base de leite após 21 dias de estocagem a -14 °C	GUERRA <i>et al.</i> (2018)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado nesta revisão, as BAL podem atender às demandas da indústria de lácteos no desenvolvimento de produtos mais

competitivos no mercado, com características organolépticas únicas, livres de substâncias sintéticas e com a possibilidade de oferecer benefícios à saúde. Devido a essa promissora área, ainda são necessários mais estudos para averiguação da

compatibilidade entre as cepas, critérios de segurança e de parâmetros sensoriais que garantam produtos de alta aceitação no mercado.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

EL-FATTAH, A. A. *et al.* Developing functional yogurt rich in bioactive peptides and gamma-aminobutyric acid related to cardiovascular health. **LWT Food Science and Technology**, v. 98, p. 390-397, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.09.022

ALAKOMI, H. L. *et al.* Lactic acid permeabilizes Gram-negative bacteria by disrupting the outer membrane. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 66, n. 5, p. 2001-2005, 2000. DOI: 10.1128/aem.66.5.2001-2005.2000

AL-DHAHERI, A. S. *et al.* Health-promoting benefits of low-fat Akawi cheese made by exopolysaccharide-producing probiotic *Lactobacillus plantarum* isolated from camel milk. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 10, p. 7771-7779, 2017. DOI: 10.3168/jds.2017-12761

ARES-YEBRA, A. *et al.* Formation of conjugated linoleic acid by a *Lactobacillus plantarum* strain isolated from an artisanal cheese: evaluation in miniature cheeses. **International Dairy Journal**, v. 90, p. 98-103, 2019. DOI: 10.1016/j.idairyj.2018.11.007

AYYASH, M. *et al.* Rheological, textural, microstructural and sensory impact of exopolysaccharide-producing *Lactobacillus plantarum* isolated from camel milk on low-fat Akawi cheese. **LWT Food Science and Technology**, v. 87, p. 423-431, 2018. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.09.023

BADEL, S.; BERNARDI, T.; MICHAUD, P. New perspectives for *Lactobacilli* exopolysaccharides. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 1, p. 54-66, 2011. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2010.08.011

BEZERRA, T. K. A. *et al.* Proteolysis in goat “Coalho” cheese supplemented with probiotic lactic acid bacteria. **Food Chemistry**, v. 196, n. 1, p. 359-366, 2016. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.09.066

BLAYA, J.; BARZIDEH, Z.; LA-POINTE, G. Symposium review: interaction of starter cultures and nonstarter lactic acid bacteria in the cheese environment. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 4, p. 3611-3629, 2018. DOI: 10.3168/jds.2017-13345

BORGES, D. O. *et al.* *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* SJRP55 reduces *Listeria monocytogenes* growth and impacts on fatty acids profile and conjugated linoleic acid content in fermented cream. **LWT Food Science and Technology**, v. 107, p. 264-271, 2019. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.02.085

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 46, de 23 de outubro de 2007. Regulamento técnico de produção, identidade e qualidade de leites fermentados. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 205, p. 4, 24 out. 2007.

CAROCHO, M. *et al.* Natural food additives: quo vadis? **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 2, p. 284-295, 2015. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.06.007

CAVALHEIRO, F. G. *et al.* High protein yogurt with addition of *Lactobacillus helveticus*: peptide profile and angiotensin-converting enzyme ACE-inhibitory activity. **Food Chemistry**, v. 333, n. 127482, 2020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127482

CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L.; LORIENT, D. **Proteínas alimentarias**: bioquímica, propiedades funcionales, valor nutritivo, modificaciones químicas. Zaragoza: Acribia, 1989.

CHEN, C. *et al.* Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: a review. **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 1, p. 316-330, 2017. DOI: 10.1080/10942912.2017.1295988

- CHEN, H.; HOOVER, D. G. Bacteriocins and their food applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 2, n. 3, p. 82-100, 2003. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2003.tb00016.x
- CLEVELAND, J. *et al.* Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation. **International Journal of Food Microbiology**, v. 71, n. 1, p. 1-20, 2001. DOI: 10.1016/S0168-1605(01)00560-8
- DOMINGOS-LOPES, M. F. P. *et al.* Genetic diversity, safety and technological characterization of lactic acid bacteria isolated from artisanal Pico cheese. **Food Microbiology**, v. 63, p. 178-190, 2017. DOI: 10.1016/j.fm.2016.11.014
- DOUILLARD, F. P.; DE VOS, W. M. Functional genomics of lactic acid bacteria: from food to health. **Microbial Cell Factories**, v. 13, n. 1, p. 1-21, 2014. DOI: 10.1186/1475-2859-13-S1-S8
- EL GALIOU, O. *et al.* Lipolysis and proteolysis during the ripening of fresh Moroccan goats' milk cheese. **World Journal of Dairy & Food Sciences**, v. 8, n. 2, p. 201-206, 2013. DOI: 10.5829/idosi.wjdfs.2013.8.2.8140
- FAVARO, L.; PENNA, A. L. B.; TODOROV, S. D. Bacteriocinogenic LAB from cheeses-application biopreservation? **Trends in Food Science & Technology**, v. 41, n. 1, p. 37-48, 2015. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.09.001
- FELIS, G. E.; SALVETTI, E.; TORRIANI, S. Systematics of lactic acid bacteria. *In*: MOZZI, F.; RA YA, R. R.; VIGNOLO, G. M. (ed.). **Biotechnology of Lactic Acid Bacteria**. Pondicherry, India: John Wiley & Sons, 2015. p. 25-31.
- FOX, P. F. *et al.* Biochemistry of cheese ripening. *In*: FOX, P. F. *et al.* **Fundamentals of Cheese Science**. New York: Springer, 2017. Cap. 12, p. 391-442.
- FREITAS, P. A. V. *et al.* Biodegradable film development by nisin Z addition into hydroxypropylmethylcellulose matrix for mozzarella cheese preservation. **International Journal of Food Studies**, v. 9, n. 2, 2020. DOI: 10.7455/ijfs/9.2.2020.a8
- GAWAI, K. M.; MUDGAL, S. P.; PRAJAPATI, J. B. Stabilizers, colorants, and exopolysaccharides in yogurt. *In*: SHAH, N. P. (ed.). **Yogurt in Health and Disease Prevention**. Amsterdam: Elsevier, 2017. p. 49-68.
- GEMECHU, T. Review on lactic acid bacteria function in milk fermentation and preservation. **African Journal of Food Science**, v. 9, n. 4, p. 170-175, 2015. DOI: 10.5897/AJFS2015.1276
- GUERRA, A. F. *et al.* *Lactobacillus paracasei* probiotic properties and survivability under stress-induced by processing and storage of ice cream bar or ice-lolly. **Ciência Rural**, v. 48, n. 9, 2018. DOI: 10.1590/0103-8478cr20170601
- GUINEE, T. P. Salting and the role of salt in cheese. **International Journal of Dairy Technology**, v. 57, n. 2-3, p. 99-109, 2004. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2004.00145.x
- GUINEE, T. P.; O'KENNEDY, B. T. Reducing salt in cheese and dairy spreads. *In*: KILCAST, D.; ANGUS, F. (ed.). **Reducing Salt in Foods**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2007. p. 316-357.
- GRAÇA, C.; RAYMUNDO, A.; SOUSA, I. Yogurt as an alternative ingredient to improve the functional and nutritional properties of gluten-free breads. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 111, 2020. DOI: 10.3390/foods9020111
- HAMMAMI, R.; FLISS, I.; CORSETTI, A. *et al.* Application of protective cultures and bacteriocins for food biopreservation. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, p. 1561, 2019. DOI: 10.3389/fmicb.2019.01561
- HAN, X. *et al.* Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. **BioMed Research International**, v. 2016, n. 7945675, 2016. DOI: 10.1155/2016/7945675

- HOLZAPFEL, W. H.; WOOD, B. J. B. **Lactic Acid Bacteria: biodiversity and taxonomy**. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2014. 632 p.
- JAY, J. M. **Microbiologia de Alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 712 p.
- KLAENHAMMER, T. R. *et al.* Genomic features of lactic acid bacteria effecting bioprocessing and health. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 29, n. 3, p. 393-409, 2005. DOI: 10.1016/j.fmrr.2005.04.007
- KRISTENSEN, L. S. *et al.* Diversity in NaCl tolerance of *Lactococcus lactis* strains from DL-starter cultures for production of semi-hard cheeses. **International Dairy Journal**, v. 105, n. 104673, 2020. DOI: 10.1016/j.idairyj.2020.104673
- KRYSHEN, A. **Avaliação do potencial antimicrobiano de óleos essenciais e nisina**. 2016. 63 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada) – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.
- LAHTINEN, S. *et al.* **Lactic Acid Bacteria: microbiological and functional aspects**. 4. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2012. 798 p.
- LAZZI, C. *et al.* Can the development and autolysis of lactic acid bacteria influence the cheese volatile fraction. **International Journal of Food Microbiology**, v. 233, p. 20-28, 2016. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00643.x
- LONDOÑO-ZAPATA, A. F. *et al.* Characterization of lactic acid bacterial communities associated with a traditional Colombian cheese: double cream cheese. **LWT Food Science and Technology**, v. 82, n. 1, p. 39-48, 2017. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.03.058
- MACHADO, T. O. X. *et al.* Effect of the application of probiotic strains of *Enterococcus faecium* on the physicochemical and sensory characteristics of Coalho cheese. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 167-178, 2021. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n1p167
- MALTA, D. C.; SILVA JR., J. B. D. Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis no Brasil após três anos de implantação, 2011-2013. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 389 - 395, 2014. DOI: 10.5123/S1679-49742014000300002
- MANTILLA, C. L.; PORTACIO, A. B. Potencial probiótico de cepas nativas para uso como aditivos en la alimentación avícola. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 14, n. 1, p. 31-40, 2012.
- MARGALHO, L. P. *et al.* Brazilian artisanal cheeses are rich and diverse sources of nonstarter lactic acid bacteria regarding technological, bio-preservative, and safety properties. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 9, p. 7908-7926, 2020. DOI: 10.3168/jds.2020-18194
- MARTINOVIC, A. *et al.* Application of indigenous strains of lactic acid bacteria for semi-industrial production of autochthonous Montenegrin Njeguši cheese. **International Journal of Dairy Technology**, v. 71, n. 3, p. 683-692, 2018. DOI: 10.1111/1471-0307.12480
- MASUDA, Y. *et al.* Identification and characterization of leucocyclin Q, a novel cyclic bacteriocin produced by *Leuconostoc mesenteroides* TK41401. **Applied and environmental microbiology**, v. 77, n. 22, p. 8164-8170, 2011. DOI: 10.1128/AEM.06348-11
- McSWEENEY, P. L. H. Biochemistry of cheese ripening: introduction and overview. *In*: FOX, P. *et al.* (ed.). **Cheese - Chemistry, Physics, and Microbiology**. 3. ed. London: General Aspects, 2004. p. 347-360.
- MONTET, D.; RAY, R. C. **Fermented Foods**. Part I: Biochemistry and Biotechnology. Boca Raton: CRC Press, 2016. 413 p.
- MOREIRA, S. R. *et al.* Análise microbiológica e química de iogurtes comercializados em Lavras-MG. **Food Science and Technology**, v. 19, n. 1, p. 147-152, 1999. DOI: 10.1590/S0101-20611999000100027

- MUKHTAR, H.; YAQUB, S.; HAQ, I. U. *et al.* Production of probiotic Mozzarella cheese by incorporating locally isolated *Lactobacillus acidophilus*. **Annals of Microbiology**, v. 70, n. 56, p. 1-13, 2020. DOI: 10.1186/s13213-020-01592-7
- NWODO, U. U.; GREEN, E.; OKOH, A. I. Bacterial exopolysaccharides: functionality and prospects. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 11, p. 14002-14015, 2012. DOI: 10.3390/ijms131114002
- OGAWA, J. *et al.* Production of conjugated fatty acids by lactic acid bacteria. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 100, n. 4, p. 355-364, 2005. DOI: 10.1263/jbb.100.355
- ØSTERGAARD, N. B.; EKLÖW, A.; DALGAARD, P. Modelling the effect of lactic acid bacteria from starter-and aroma culture on growth of *Listeria monocytogenes* in cottage cheese. **International Journal of Food Microbiology**, v. 188, p. 15-25, 2014. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.07.012
- PASQUALE, I. D. *et al.* Use of autochthonous mesophilic lactic acid bacteria as starter cultures for making Pecorino Crotonese cheese: effect on compositional, microbiological and biochemical attributes. **Food Research International**, v. 116, p. 1344-1356, 2019. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.10.024
- PEHRSON, M. E. S. F. **Efeito da adição de culturas probióticas sobre aspectos microbiológicos e parâmetros fermentativos de queijo artesanal das Terras Altas da Mantiqueira**. 2017. 128 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2017.
- PEREIRA, G. V. M. *et al.* A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry. **Food Reviews International**, v. 36, n. 2, p. 135-167, 2019. DOI: 10.1080/87559129.2019.1630636
- PEREZ, R. H.; ZENDO, T.; SONOMOTO, K. Circular and leaderless bacteriocins: biosynthesis, mode of action, applications, and prospects. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, n. 2085, 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02085
- POHL, C. H.; KOCK, J. L. F.; TIBANE, V. S. Antifungal free fatty acids: a review. In: MÉNDEZ-VILAS, A. (ed.). **Science Against Microbial Pathogens: communicating current research and technological advances**. Badajoz: Formatex, 2011. p. 61-71.
- PRUDÊNCIO, C. V.; SANTOS, M. T.; VANETTI, M. C. D. Strategies for the use of bacteriocins in Gram-negative bacteria: relevance in food microbiology. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 9, p. 5408-5417, 2015. DOI: 10.1007/s13197-014-1666-2
- RAMCHANDRAN, L.; SHAH, N. P. Proteolytic profiles and angiotensin-I converting enzyme and α -glucosidase inhibitory activities of selected lactic acid bacteria. **Journal of Food Science**, v. 73, n. 2, p. M75-M81, 2008. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00643.x
- ROSSI, E. *et al.* Physicochemical and microbiological properties of yogurt made with microencapsulation probiotic starter during cold storage. **Biodiversitas Journal of Biological Diversity**, v. 22, n. 4, 2021. DOI: 10.13057/biodiv/d220450
- RUAS-MADIEDO, P. *et al.* Exopolysaccharides produced by probiotic strains modify the adhesion of probiotics and enteropathogens to human intestinal mucus. **Journal of Food Protection**, v. 69, n. 8, p. 2011-2015, 2006. DOI: 10.4315/0362-028X-69.8.2011
- SAVIJOKI, K.; INGMER, H.; VARMANEN, P. Proteolytic systems of lactic acid bacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 71, n. 4, p. 394-406, 2006. DOI: 10.1007/s00253-006-0427-1
- SCHAEFER, L. *et al.* The antimicrobial compound reuterin (3-hydroxypropionaldehyde) induces oxidative stress via interaction with thiol groups. **Microbiology**, v. 156, n. 6, p. 1589-1599, 2010. DOI: 10.1099/mic.0.035642-0

- SHARMA, G. *et al.* Synergistic antibacterial and anti-biofilm activity of nisin like bacteriocin with curcumin and cinnamaldehyde against ESBL and MBL producing clinical strains. **Biofouling**, v. 36, n. 6, p. 710-724, 2020. DOI: 10.1080/08927014.2020.1804553
- SILVA, C. C. G.; SILVA, S. P. M.; RIBEIRO, S. C. Application of bacteriocins and protective cultures in dairy food preservation. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 594, 2018. DOI: 10.3389/fmicb.2018.00594
- SOBRINO-LÓPEZ, A.; MARTÍN-BELLOSO, O. Use of nisin and other bacteriocins for preservation of dairy products. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 4, p. 329-343, 2008. DOI: 10.1016/j.idairyj.2007.11.009
- SPREER, E. **Milk and Dairy Product Technology**. New York: Routledge, 2017. 483 p.
- SYNDER, A. B.; WOROBO, R. W. Chemical and genetic characterization of bacteriocins: antimicrobial peptides for food safety **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 1, p. 28-44, 2013. DOI: 10.1002/jsfa.6293
- TIAN, H. *et al.* Screening of aroma-producing lactic acid bacteria and their application in improving the aromatic profile of yogurt. **Journal of Food Biochemistry**, v. 43, n. 10, 2019. DOI: 10.1111/jfbc.12837
- TIDONA, F. *et al.* Characterization and pre-industrial validation of *Streptococcus thermophilus* strains to be used as starter cultures for Crescenza, an Italian soft cheese. **Food Microbiology**, v. 92, n. 103599, 2020. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103599
- MASTRIGT, O. V. *et al.* Citrate, low pH and amino acid limitation induce citrate utilization in *Lactococcus lactis* biovar *diacetylactis*. **Microbial Biotechnology**, v. 11, n. 2, p. 369-380, 2018. DOI: 10.1111/1751-7915.13031
- VARSHA, K. K.; NAMPOOTHIRI, K. M. Appraisal of lactic acid bacteria as protective cultures. **Food Control**, v. 69, p. 61-64, 2016. DOI: 10.1016/j.foodcont.2016.04.032
- VENEGAS-ORTEGA, M. G. *et al.* Production of bioactive peptides from lactic acid bacteria: a sustainable approach for healthier foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 4, p. 1039-1051, 2019. DOI: 10.1111/1541-4337.12455
- YANG, W. *et al.* Identification of antioxidant peptides from cheddar cheese made with *Lactobacillus helveticus*. **LWT Food Science and Technology**, v. 141, n. 110866, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.110866
- ZHANG, S. S. *et al.* Low-sugar yogurt making by the co-cultivation of *Lactobacillus plantarum* WCFS1 with yogurt starter cultures. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 4, p. 3045-3054, 2020. DOI: 10.3168/jds.2019-17347