

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE AUTOAGREGAÇÃO E HIDROFOBICIDADE DE BACTÉRIAS ÁCIDO LÁCTICAS

EVALUATION OF THE AUTOAGGREGATION CAPACITY AND SURFACE HYDROPHOBICITY OF LACTIC ACID BACTERIA

DOI: 10.65747/conali2025v1c08

Matheus Oliveira Silveira¹; Heliabe Kadmiel Mendonça Ferreira¹; Ana Caroline Chagas Nascimento¹; Anna Giselle Cavalcanti Vaz Mendes Silva²; José Erick Galindo Gomes³; Keila Aparecida Moreira⁴

¹Estudante do Curso de Medicina Veterinária - UFAPE; ²Doutoranda em Biociência Animal - UFRPE; ³Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos – UFAPE; ⁴Docente do Curso de Medicina Veterinária – UFAPE;

Contato: matheussilveira488@gmail.com

Resumo: As bactérias ácido lácticas (BAL) são microrganismos cruciais na indústria de derivados lácteos, reconhecidas como "GRAS" e valorizadas por seu caráter probiótico, conferindo benefícios como melhoria da digestão e modulação imunológica. O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de autoagregação e de adesão a superfícies hidrofóbicas de cepas de BAL isoladas de queijo de coalho artesanal do Agreste Meridional de Pernambuco. Inicialmente, as cepas foram ativadas em caldo MRS a 37 °C por 24 horas. Para o teste autoagregação, as cepas foram padronizadas e incubadas em diferentes temperaturas (4 °C, 37 °C e 42 °C). Com relação a adesão a superfícies hidrofóbicas esta foi avaliada utilizando n-hexadecano como meio hidrofóbico. Dentre as cepas avaliadas, a cepa A2 apresentou os melhores resultados de autoagregação, com médias de 87,62% (4 °C), 85,94% (37 °C) e 86,41% (42 °C). Para a análise de adesão a superfícies hidrofóbicas a cepa A3 exibiu o maior potencial (87,14%). Portanto, as cepas analisadas apresentam propriedades promissoras de potencial probiótico para aplicação em alimentos fermentados funcionais, contribuindo com dados relevantes para futuras pesquisas na área de ciência e tecnologia de alimentos.

Palavras-chave: alimentos funcionais; lácteos fermentados; probióticos

Abstract: Lactic acid bacteria (LAB) are crucial microorganisms in the dairy industry, recognized as "GRAS" (Generally Recognized as Safe) and valued for their probiotic character, conferring benefits such as improved digestion and immune modulation. The present study aimed to evaluate the auto-aggregation and adhesion to hydrophobic surfaces capabilities of LAB strains isolated from artisanal queijo de coalho (a type of cheese) from the Agreste Meridional region of Pernambuco, Brazil. Initially, the strains were activated in MRS broth at 37 °C for 24 hours. For the auto-aggregation test, the strains were standardized and incubated at different temperatures (4 °C, 37 °C, and 42 °C). Regarding adhesion to hydrophobic surfaces, this was evaluated using n-hexadecane as the hydrophobic medium. Among the strains evaluated, strain A2 showed the best auto-aggregation results, with averages of 87.62% (4 °C), 85.94% (37 °C), and 86.41% (42 °C). For the hydrophobic surface adhesion analysis, strain A3 exhibited the highest potential (87.14%). Therefore, the analyzed strains present promising properties with probiotic potential for application in functional

fermented foods, contributing relevant data for future research in the field of food science and technology.

Keywords: functional foods; fermented dairy products; probiotics

INTRODUÇÃO

Na indústria de derivados lácteos, a aplicação de culturas microbianas específicas possibilita a produção de iogurtes e queijos com texturas e sabores diferenciados, além de prolongar a vida útil desses alimentos. A utilização dessas culturas microbianas, por exemplo, permite a produção de iogurtes com menor teor de açúcar sem comprometer o sabor doce natural do produto. Essas inovações refletem o compromisso da indústria em oferecer alimentos mais saudáveis e alinhados às tendências do consumo consciente (1, 2).

Para o desenvolvimento de derivados lácteos funcionais, essas inovações vem sendo cada vez mais focadas no estudo das bactérias ácido lácticas, microrganismos amplamente utilizados em produtos fermentados. A partir da fermentação de compostos orgânicos, como a lactose, esses microrganismos auxiliam na fabricação de produtos benéfico à saúde humana e animal, devido ao seu caráter probiótico (3, 4, 5).

As bactérias ácido lácticas (BAL), são microrganismos Gram-positivos, difundidos pelos diferentes ambientes no ecossistema, não apenas em produtos lácteos. São microrganismos conhecidos pela sua capacidade de fermentação de carboidratos, principalmente a lactose, produzindo ácido láctico como resultado desse processo, além de vitaminas do complexo B e substâncias antimicrobianas como as bacteriocinas. A maioria das BAL são representadas pelos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, que colonizam porções distintas do intestino, como o íleo e o cólon, respectivamente (6).

Esse grupo de microrganismos são amplamente reconhecidas como “GRAS” (Generally Recognized As Safe), devido ao fato de não apresentarem malefícios ao organismo, pois não produzem toxinas, não possuem genes associados à virulência ou à patogenicidade, e são, na maioria dos casos, microrganismos comensais ou benéficos. Seu papel na saúde humana e animal está associado à melhora da digestão, à regulação do sistema imunológico e à prevenção de infecções intestinais, reforçando sua importância como probióticos. A capacidade de produzir compostos antimicrobianos naturais e de interagir positivamente com o organismo humano, sem induzir efeitos adversos, consolida sua segurança para consumo (7).

Produtos lácteos probióticos são classificados como alimentos funcionais, pois contêm microrganismos vivos que, quando consumidos em quantidades adequadas, proporcionam benefícios à saúde do consumidor. Nesse contexto, o uso de BAL é fundamental na fabricação de alimentos com propósito probiótico. Esses microrganismos não apenas conferem a capacidade funcional, mas também são adicionados para promover alterações benéficas nos alimentos, melhorando suas características físico-químicas. Estudos científicos têm demonstrado a eficácia

dos probióticos na prevenção e no tratamento de doenças, como a síndrome do intestino irritável e diarreias associadas ao uso de medicamentos. A administração regular de alimentos que contêm probióticos em sua formulação está diretamente ligada à redução da incidência e da duração dessas patologias. Um vez que, os probióticos presentes em alimentos tem papel de estimular o sistema imunológico humano e animal, aumentando a resistência do organismo a infecções e contribuindo para a manutenção da saúde gastrointestinal. Há evidências que o consumo regular de probiótico reduz a concentração séria de colesterol, o que favorece a saúde cardiovascular (8, 9, 10, 11, 12).

Embora os gêneros de BAL mais utilizados para esta finalidade sejam os *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium* e *Streptococcus*, outras bactérias ácido lácticas também podem ser empregadas e desempenham efeitos positivos similares, como algumas espécies de *Enterococcus* (13). As diferentes vias de administração dos probióticos devem facilitar a sua passagem até o sítio alvo para que os microrganismos possam desempenhar a função desejada. Além disso, é necessário que as cepas utilizadas completem esse trajeto de forma metabolicamente ativa e em quantidades suficientes para a futura colonização, sobrevivendo as adversidades do trato gastrointestinal. A principal via de administração utilizada é a oral, uma vez que é considerada como prática, segura e convenientemente acessível, principalmente se tratando de produtos probióticos alimentícios para comercialização (14).

A colonização da microbiota intestinal por probióticos é baseada na competição que desempenham em detrimento a microbiota já existente nos intestinos. Isso implica que, ao passo que esses microrganismos são administrados, sua presença gera uma disputa por sítios de colonização, o que por consequência diminui a população de patógenos oportunistas no epitélio intestinal. Além disso, para essa finalidade é necessário que se estabeleça uma relação de simbiose, com a associação de prebióticos, para garantir a viabilidade desses microrganismos. Essa prática é muito difundida na formulação de produtos fermentados destinados ao consumo humano e animal, como iogurtes e Kefir, além de ser também aplicada em fármacos específicos para a recuperação da microbiota intestinal (15,16).

Nesse viés, para determinar sua capacidade probiótica, as bactérias ácido lácticas desempenham a habilidade de autoagregação e aderência às superfícies hidrofóbicas. A autoagregação de BAL refere-se a aptidão desses microrganismos aderirem entre si, formando agregados auto associados. Esse fenômeno envolve interações físico-químicas na superfície celular da bactéria, como a expressão de proteínas de adesão, que permitem a formação desses agregados (17). Estudos como o de Roghmann e McGrail (18), afirmam que para um microrganismo ser considerado um probiótico em potencial, sua capacidade de autoagregação deve ser acima de 40%.

Do ponto de vista funcional, essa propriedade pode contribuir positivamente para a eficácia probiótica das BAL, os agregados formados favorecem a colonização local e sua persistência no trato gastrointestinal, além de formar uma barreira física que limita a adesão de patógenos à

mucosa. Com isso, a quantidade de células viáveis de microrganismos probióticos no ambiente intestinal aumenta, o que fortalece ainda mais os efeitos benéficos desempenhados e sua capacidade antagonista direta pela competição nos sítios de adesão (19).

Outro fator determinante da capacidade probiótica de BAL é a adesão aos sítios hidrofóbicos contidos nas células epiteliais do intestino. À medida que os microrganismos colonizam as células-alvo através dessa capacidade, modulam o microbioma local ali presente e a resposta imune do hospedeiro. Esse processo é mediado por diversas moléculas de superfície como as proteínas mucinas, os ácidos lipotécnicos e outras proteínas de camada superficial que favorecem a interação da bactéria com a superfície do adipócito (20).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de autoagregação e de adesão às superfícies hidrofóbicas das bactérias ácido lácticas isoladas do queijo de coalho artesanal do Agreste Meridional de Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

Microrganismos

As dez cepas de bactérias ácido lácticas (BAL) utilizadas para a realização deste trabalho foram isoladas previamente a partir de amostras de queijos coalho artesanais produzidos no Agreste Meridional de Pernambuco. As BAL foram armazenadas a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ no Laboratório de Microbiologia, Tecnologia Enzimática e Bioprodutos (LMTEB) da UFAPE.

Potencial de autoagregação

O teste de autoagregação foi realizado de acordo com Todorov e Dicks (21). As cepas de bactérias ácido lácticas (BAL) foram ativadas em caldo MRS por 24 h a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em seguida, o pellet bacteriano de cada cepa foi obtido através de centrifugação a $7000 \times g$ por 10 min. a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, lavado duas vezes e ressuspenso em solução salina 0,85% estéril, para atingir densidade óptica ajustada de $\text{DO}_{660\text{nm}} = 0,3$ (10^8 UFC/mL). A suspensão celular (1 mL) com densidade óptica ajustada foi transferida para um microtubo estéril de 2 mL, e as amostras foram incubadas aerobicamente a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 60 min. Essas temperaturas são escolhidas para avaliar o comportamento das cepas na temperatura de armazenamento refrigerado ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$), temperatura corporal ($37\text{ }^{\circ}\text{C}$) e temperatura de incubação do leite fermentado (37 e $42\text{ }^{\circ}\text{C}$). O teste de autoagregação foi determinado através de espectrofotômetro, onde a densidade óptica foi medida antes e depois de um período de incubação de 60 minutos em temperatura ambiente ($\pm 27\text{ }^{\circ}\text{C}$), seguido de uma centrifugação de 2 minutos a $300 \times g$. A porcentagem de autoagregação foi calculada com base na

diferença entre a densidade ótica inicial e final: % Autoagregação = $((DO_0 - DO_{60}) / DO_0) \times 100$. As análises foram realizadas em triplicata.

Hidrofobicidade da superfície celular

A capacidade da superfície da bactéria para aderir a compostos hidrofóbicos foi avaliada de acordo com o método relatado por Todorov e Dicks (22). As cepas foram cultivadas aerobiamente em caldo MRS a 37 °C por 18 h. As células posteriormente passaram pelo processo de centrifugação (6700 x g por 6 min a 4 °C) e o pellet bacteriano foi lavado duas vezes em tampão fosfato 0,1 M e posteriormente ressuspenso na mesma solução. A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 580 nm. Em seguida, foram adicionados 1,5 mL de n-hexadecano em agitação por 2 minutos. As fases aquosa e orgânica passaram por processo de separação em temperatura ambiente durante 30 minutos. Posteriormente, uma alíquota de 1 mL da fase aquosa foi removida para determinar absorbância a 580 nm. A porcentagem de hidrofobicidade foi determinada pela equação: % hidrofobicidade = $((DO_0 - DO_{30}) / DO_0) \times 100$, em que DO_0 se refere a DO inicial e DO_{30} se refere ao valor de DO medido após 30 minutos. Os testes foram realizados em triplicata, em três momentos diferentes (n = 9).

Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2024). ANOVA de uma via seguida do teste de Tukey foi aplicada para verificar diferenças estatísticas ($p < 0,05$) entre os ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta o resultado dos testes de autoagregação realizados com 10 cepas de bactérias ácido lácticas isoladas de queijos coalho artesanais produzidos no Agreste de Pernambuco.

Tabela 1 - Autoagregação (%) de bactérias ácido lácticas isoladas de queijos coalho artesanais produzidos em municípios da região Agreste Meridional de Pernambuco.

Cepa	Temperatura (°C)		
	4	37	42
A1	32,23±0,80 ^f	27,91±1,42 ^h	28,41±1,42 ^h
A2	87,62±1,06 ^a	85,94±1,80 ^a	86,41±0,43 ^a
A3	82,23±0,58 ^b	80,11±1,73 ^b	80,57±1,15 ^b
A4	44,44±2,41 ^e	43,95±1,72 ^f	41,67±1,07 ^g
A5	70,79±1,71 ^c	70,07±2,58 ^c	67,08±1,25 ^c
A6	54,33±4,15 ^d	49,75±1,80 ^e	48,56±1,21 ^{ef}
A7	45,11±2,28 ^e	49,71±1,52 ^e	44,25±2,46 ^{fg}
A8	66,92±1,93 ^c	59,94±1,33 ^d	55,35±1,33 ^d
B1	82,97±1,94 ^b	83,61±1,31 ^{ab}	84,80±2,19 ^{ab}
B2	42,57±1,05 ^e	38,58±1,02 ^g	49,07±2,43 ^{ef}

Diferentes letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$). Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3).

É possível verificar através da tabela 1 que a cepa A2 apresentou os melhores resultados para todas as temperaturas avaliadas, diferindo significativamente das demais. Além disso, a cepa B1, também apresentou bons resultados e não diferiu significativamente da cepa A2 para as temperaturas de 37 e 42 °C. Os resultados referentes a essas 2 bactérias contam com médias acima de 80% para todas as temperaturas, o que implica afirmar que estas cepas possuem um alto potencial de se agregarem (18).

A cepa A1, apresentou a menor taxa de autoagregação para as três temperaturas quando comparadas a todas as outras bactérias testadas. Esse fato pode ser explicado pela possibilidade dessa bactéria não expressar os mecanismos de autoagregação citados anteriormente, o que diminuiria sua capacidade de formar agregados nas temperaturas testadas.

A capacidade probiótica das bactérias ácido lácticas está diretamente associada ao seu potencial de autoagregação, uma vez que este irá influenciar na sua habilidade de adesão epitelial nas vilosidades intestinais. Nesse contexto, algumas características intrínsecas à bactéria ácido láctica devem ser levadas em conta para tal feito, tais como a produção de exopolissacarídeos (EPS), propriedades hidrofóbicas de superfície celular e presença de proteínas de adesão (23, 24).

Os exopolissacarídeos são produzidos por muitas BAL para atuarem como agentes de adesão, o que favorece a formação dos agregados. Além disso, analogamente, as adesinas, ou proteínas de adesão que estão presentes em suas superfícies de membrana, atuam como mediadores de união entre as bactérias ácido lácticas, de forma que, aquelas que tenham mais dessas proteínas nas membranas consigam se agregar de uma forma mais fácil. Por fim, as propriedades hidrofóbicas de superfície celular dizem respeito à presença de lipídeos de membrana e outros componentes de parede celular, que geram uma carga líquida nula para a célula bacteriana e favorecem sua agregação pelas forças de Van der Waals (25, 26).

Trabalhos científicos, como o de Carlos (27), que testou o potencial de autoagregação de bactérias ácido lácticas isoladas de queijos artesanais portugueses e obteve valor máximo de 24%, revelam que essa propriedade varia de acordo com o isolado trabalhado e suas respectivas características intrínsecas. Em contrapartida, o estudo de Colombo *et al.* (28) demonstrou altos valores de autoagregação de bactérias ácido lácticas de diferentes gêneros, como *Lactobacillus* e *Pediococcus*, com resultados entre 62% e 91% para o primeiro gênero e 78% a 96% para o segundo. Além disso, é importante destacar estudos como os de Park *et al.* (29), os quais reportam baixo percentual dessa capacidade probiótica em bactérias ácido lácticas testadas do gênero *Pediococcus* em condições experimentais *in vitro*, com médias em torno de 18%. Dessa forma, é possível observar que as cepas analisadas no presente trabalho demonstraram alta capacidade de autoagregação, refletindo seus potenciais como candidatas a microrganismos probióticos.

A temperatura de incubação pode exercer influência direta sobre a capacidade de autoagregação das cepas. Aos 4 °C, por exemplo, a taxa metabólica do microrganismo está reduzida, porém não deve impedir sua capacidade de autoagregação. Dessa forma, as médias elevadas das cepas A2 e B1, com 87,62% e 82,97%, respectivamente, refletem um potencial promissor em baixas temperaturas. Ainda, à temperatura de 37 °C, considerada próxima a faixa ótima de metabolismo da grande maioria das BAL, sua taxa metabólica favorece a produção de EPS, o que auxilia na formação de seus agregados, por essa razão as mesmas cepas continuam mostrando-se promissoras pois detêm as maiores médias, de 85,94% e 83,61%, respectivamente, aos 37 °C (30). Por fim, as bactérias A2 e B1, que também possuem os melhores valores de média à 42 °C, com 86,41% e 84,80%, respectivamente, são consideradas termotolerantes e podem ser utilizadas em processos fermentativos, visto que essa é a temperatura utilizada para a produção de produtos fermentados lácteos em geral (31).

Na tabela 2 é possível observar os resultados do potencial de adesão a superfícies hidrofóbicas testado com as 10 cepas estudadas. A cepa A3 apresentou o melhor resultado, com média de 87,14% para a hidrofobicidade, diferindo estatisticamente das demais. Em contrapartida, a cepa A7 apresentou o menor resultado com apenas 3,13%.

Tabela 2 – Hidrofobicidade (%) de bactérias ácido lácticas isoladas de queijos coalho artesanais produzidos em municípios da região Agreste Meridional de Pernambuco.

Cepa	Hidrofobicidade (%)
A1	34,94±1,96 ^d
A2	81,45±0,78 ^b
A3	87,14± 2,45 ^a
A4	23,24±1,75 ^e
A5	24,18±1,31 ^e
A6	12,56±1,53 ^f
A7	3,13±0,24 ^h
A8	11,67±0,54 ^f
B1	6,11±0,66 ^g
B2	47,17±0,87 ^c

Diferentes letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$). Os resultados são expressos como média \pm desvio padrão ($n = 3$).

O trabalho de Shivani *et al.* (32) mostrou que a hidrofobicidade da cepa de bactéria ácido láctica trabalhada foi superior a 85%, utilizando experimentalmente o mesmo meio hidrofóbico (n-hexadecano). Os autores afirmam que esse valor é considerado como um forte potencial aderente. Neste sentido, a cepa A3 tem uma promissora capacidade de adesão à superfícies hidrofóbicas, pois a mesma apresentou 87,14% de hidrofobicidade.

O estudo de Kos *et al.* (33), demonstrou que a exposição de estruturas de superfície como as adesinas e os ácidos lipotécóicos favorecem tanto a capacidade de agregação das bactérias

ácido lácticas, quanto a de adesão a superfícies hidrofóbicas, a depender de como esses microrganismos expõem essas moléculas. Dessa forma, pode-se inferir que um alto valor de hidrofobicidade sugere uma maior exposição dessas estruturas.

Além disso, a presença da proteína “S” é outro fator extremamente importante a ser destacado. Essa proteína de estrutura cristalina é uma molécula que apresenta vários domínios hidrofóbicos ao longo de sua cadeia aminoacídica, os quais funcionam como receptores para os sítios que estão disponíveis para adesão. É válido destacar que nem todas as bactérias ácido lácticas apresentam essa camada em sua estrutura, porém as que a contém, demonstram uma alta habilidade de ligação a superfícies hidrofóbicas justamente pela semelhança de polaridade dos sítios e da proteína, que medeia essa interação. Dessa forma, se a BAL expressa a camada “S”, poderá interagir com as regiões hidrofóbicas do substrato com uma maior facilidade e alta afinidade (34).

A produção de exopolissacarídeos também influencia na hidrofobicidade da célula bacteriana, pois são moléculas essencialmente hidrofílicas, implicando na não afinidade de ligação com superfícies hidrofóbicas (35). Nesse contexto, bactérias ácido lácticas que expressam mais facilmente EPS, acabam por não terem uma habilidade de adesão a superfícies hidrofóbicas tão pronunciada, uma vez que a diferença de polaridade entre essa estrutura e a superfície em questão não permite esse intermédio (36, 37).

Portanto, é possível supor que a cepa A3 apresenta em sua estrutura, os fatores que favorecem sua adesão a superfícies hidrofóbicas, devido ao seu alto potencial de hidrofobicidade em relação as demais cepas testadas (38, 39). Por outro lado, a cepa A7, que apresentou menor taxa de hidrofobicidade, de 3,13% apenas, possivelmente não apresenta os fatores discutidos anteriormente. É importante destacar que a baixa capacidade de adesão às superfícies hidrofóbicas não é incomum. O estudo de Guan *et al.* (40) testou essa propriedade de bactérias ácido lácticas de diferentes gêneros e obteve resultados variáveis, com intervalo de 14,8% a 57,3% de capacidade hidrofóbica, o que demonstra a heterogeneidade desse fator perante as BAL.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo confirmam o elevado potencial probiótico das bactérias ácido lácticas isoladas do queijo de coalho artesanal do Agreste Meridional de Pernambuco. A avaliação da autoagregação e da adesão a superfícies hidrofóbicas permitiu encontrar cepas robustas e promissoras para aplicações biotecnológicas. As cepas A2 e B1 demonstraram as maiores taxas de autoagregação, independente das temperaturas de incubação. Esta estabilidade térmica e a alta capacidade de agregação são atributos cruciais, pois sugerem uma maior viabilidade e persistência dessas cepas ao longo da cadeia de produção e no trato gastrointestinal, favorecendo a colonização e a exclusão competitiva de patógenos. Por outro lado, a cepa A3

destacou-se com a maior taxa de adesão a superfícies hidrofóbicas. Este achado é particularmente significativo, pois a hidrofobicidade da superfície celular é um preditor chave da capacidade de adesão ao epitélio intestinal do hospedeiro, um pré-requisito fundamental para a modulação da microbiota e da resposta imune. Portanto, as cepas A2, B1 e A3 são cepas de alto valor para serem empregadas no desenvolvimento de alimentos funcionais e simbióticos. A diferença acentuada entre o perfil de alta agregação (A2 e B1) e o perfil de alta adesão (A3) indica a diversidade de mecanismos probióticos presentes nos isolados. O isolamento de microrganismos com tais características a partir de um produto artesanal regional ressalta o potencial da biodiversidade microbiana brasileira para a inovação na indústria láctea. Além disso, é importante destacar que, estudos futuros são necessários para avaliar outras propriedades consideradas como probióticas para melhorar a confiança na utilização das cepas avaliadas no presente trabalho, como resistência das BAL a antibióticos e ao trato gastrointestinal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Microbiologia, Tecnologia Enzimática e Bioprodutos (LMTEB), pelo apoio técnico, científico e pela infraestrutura disponibilizada durante o desenvolvimento deste trabalho. À Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- (1) DE ASSIS SILVA, C. R. *et al.* Biotecnologia aplicada a produção de alimentos fermentados. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2017.
- (2) DE OLIVEIRA DOMINGOS, E. M. *et al.* Utilização de fosfolipases em queijos – uma revisão. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 7, p. 38-51, 2021.
- (3) DOS SANTOS LOPES, M. J. *et al.* Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 12, 2021.
- (4) CARVALHO, C.; BESSA, E. M. As bactérias ácido lácticas no contexto da biotecnologia. **MilkPoint**, 2022.
- (5) PEREIRA, W. A. *et al.* Advances in tilapia farming: statistical analysis of the use of probiotics and assessment of their potentials and challenges. **Preprints**, 2023.
- (6) MOKOENA, M. P.; OMATOLA, Cornelius A.; OLANIRAN, Ademola O. Applications of lactic acid bacteria and their bacteriocins against food spoilage microorganisms and foodborne pathogens. **Molecules**, v. 26, n. 22, p. 7055, 2021.
- (7) PLAVEC, T. V.; BERLEC, Aleš. Safety aspects of genetically modified lactic acid bacteria. **Microorganisms**, v. 8, n. 2, p. 297, 2020.
- (8) GUIMARÃES, J. T. *et al.* Efeitos dos probióticos no perfil lipídico: revisão sistemática. **Jornal Vascular Brasileiro**, Porto Alegre, v. 18, 2019.
- (9) DE SOUZA ROSA, L.; DA CRUZ, A. G.; TEODORO, A. J. Produtos lácteos probióticos e câncer – uma revisão narrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, 2022.

- (10) KOMATSU, T. R.; LEONE, R. S. R.; SAAD, S. M. I. Inovação, persistência e criatividade superando barreiras no desenvolvimento de alimentos probióticos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 44, n. 3, p. 421-432, 2008.
- (11) VANDENPLAS, Y.; HUYS, G.; DAUBE, G. Probióticos: informações atualizadas. **Jornal de Pediatria**, v. 91, p. 6-21, 2015.
- (12) RABÊLO, C. A. C. *et al.* Quantificação da microbiota presente em produtos lácteos industrializados comercializados como probióticos. **RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar**, v. 5, 2022.
- (13) PRADHAN, D.; MALLAPPA, R. H.; GROVER, S. Comprehensive approaches for assessing the safety of probiotic bacteria. **Food Control**, v. 108, p. 106872, 2020.
- (14) BUSANELLO, M. Probióticos, seus modos de ação e a produção animal. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 11, n. 4, p. 14-24, 2012.
- (15) LEE, E. S. *et al.* Probióticos na saúde e doença humana: de nutribióticos a farmacobióticos. **Journal of Microbiology**, v. 56, p. 773-782, 2018.
- (16) FRAKOLAKI, G. *et al.* A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 9, p. 1515-1536, 2021.
- (17) KRAUSOVA, G.; HYRSLOVA, I.; HYNSTOVA, Iveta. In vitro evaluation of adhesion capacity, hydrophobicity, and auto-aggregation of newly isolated potential probiotic strains. **Fermentation**, v. 5, n. 4, p. 100, 2019.
- (18) ROGHMANN, M.-C.; MCGRAIL, L. Novel ways of preventing antibiotic-resistant infections: what might the future hold? **American Journal of Infection Control**, v. 34, n. 8, p. 469-475, 2006.
- (19) COIMBRA-GOMES, J. *et al.* Evaluating the probiotic potential of lactic acid bacteria implicated in natural fermentation of table olives, cv. Cobrançosa. **Molecules**, v. 28, n. 8, p. 3285, 2023.
- (20) MONTEAGUDO-MERA, A. *et al.* Adhesion mechanisms mediated by probiotics and prebiotics and their potential impact on human health. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 103, n. 16, p. 6463-6472, 2019.
- (21) TODOROV SD, FURTADO DN, SAAD SM, TOME E, FRANCO BD. Potential beneficial properties of bacteriocin-producing lactic acid bacteria isolated from smoked salmon. **Journal of Applied Microbiol.** 110:971–986, 2011.
- (22) TODOROV SD, DICKS LM. Evaluation of lactic acid bacteria from kefir, molasses and olive brine as possible probiotics based on physiological properties. **Annals of Microbiol** 58:661-670, 2008.
- (23) PAIXÃO, Í. da S. F. Caracterização de bactérias ácido lácticas autóctones de leite de cabra e sua funcionalidade no queijo coalho caprino artesanal. 2016. **Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco**, Petrolina, 2016.
- (24) LOURENÇO, M. L. M. C. Potencial probiótico de microrganismos isolados de grãos de kefir: uma análise in vitro. 2021. **Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Ceará**, Sobral, 2021.
- (25) HERMANNNS, G. *et al.* Potencial bacteriocinogênico e probiótico de bactérias ácido lácticas isoladas de leite e queijos artesanais. 2013. **Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, 2013.
- (26) ARAÚJO, L. M. de. Avaliação de propriedades probióticas de bactérias ácido lácticas isoladas de queijo coalho do sertão da Paraíba. 2017. **Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, 2017.

- (27) CARLOS, E. A. de A. Avaliação do potencial tecnológico e probiótico de bactérias ácido lácticas isoladas de queijos tradicionais portugueses. 2022. **Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina Veterinária**, Lisboa, 2022.
- (28) COLOMBO, M. et al. Beneficial properties of lactic acid bacteria naturally present in dairy production. **BMC microbiology**, v. 18, n. 1, p. 219, 2018.
- (29) PARK, Sang-Kyu et al. Probiotic properties of *Pediococcus pentosaceus* JBCC 106 and its lactic acid fermentation on broccoli juice. **Microorganisms**, v. 11, n. 8, p. 1920, 2023.
- (30) BALDUINO, R.; OLIVEIRA, A. S. de; HAULY, M. C. de O. Influência da fonte de carbono e da temperatura sobre a fermentação láctica desenvolvida por cultura mista de bactérias lácticas. **Food Science and Technology**, v. 19, p. 363-366, 1999.
- (31) SILVESTRINI, R.; BARBOZA NETO, E. S.; SANTANA, R. M. C. Influência da temperatura na produção de ácido láctico por via microbiológica a partir do soro de leite. **Congresso Brasileiro de Polímeros**, 14., 2017. São Paulo, 2017.
- (32) SHIVANI, Tholla Madana; SATHIAVELU, Mythili. Probiotic evaluation, adherence capability and safety assessment of *Lactococcus lactis* strain isolated from an important herb “*Murraya koenigii*”. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 15565, 2024.
- (33) KOS, B. V. Z. E. et al. Adhesion and aggregation ability of probiotic strain *Lactobacillus acidophilus* M92. **Journal of Applied Microbiology**, v. 94, n. 6, p. 981-987, 2003.
- (34) LEBEER, S.; VANDERLEYDEN, J.; DE KEERSMAECKER, S. C. J. Genes and molecules of *Lactobacilli* supporting probiotic action. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, DC, v. 72, n. 4, p. 728-764, 2008.
- (35) SALIMI, F.; FARROKH, P. Recent advances in the biological activities of microbial exopolysaccharides. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 39, n. 8, p. 213, 2023.
- (36) VAN TASSELL, M. L.; MILLER, M. J. *Lactobacillus* adhesion to mucus. **Nutrients, Basel**, v. 3, n. 5, p. 613-636, 2011.
- (37) CASTRO-BRAVO, N. et al. Interactions of surface exopolysaccharides from *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* within the intestinal environment. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 2426, 2018.
- (38) GIAOURIS, E.; CHAPOT-CHARTIER, M. P.; BRIANDET, R. Surface physicochemical analysis of natural *Lactococcus lactis* strains reveals the existence of hydrophobic and low charged strains with altered adhesive properties. **International Journal of Food Microbiology**, v. 131, n. 1, p. 2-9, 2009.
- (39) TARAZANOVA, M. et al. Cell surface properties of *Lactococcus lactis* reveal milk protein binding specifically evolved in dairy isolates. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, p. 1691, 2017.
- (40) GUAN, Chengran et al. In vitro studies of adhesion properties of six lactic acid bacteria isolated from the longevous population of China. **RSC Advances**, v. 10, n. 41, p. 24234-24240, 2020.