

## Microencapsulação de probióticos: avanços e perspectivas

### Microencapsulation of probiotics: progress and prospects

Cristiano Ragagnin de Menezes<sup>1\*</sup> Juliano Smaniotto Barin<sup>1</sup> Alexandre José Chicoski<sup>1</sup>  
Leila Queiroz Zepka<sup>1</sup> Eduardo Jacob-Lopes<sup>1</sup> Leadir Lucy Martins Fries<sup>1</sup>  
Nelson Nascimento Terra<sup>1</sup>

### - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA -

#### RESUMO

*Devido aos seus efeitos benéficos, os probióticos têm sido incorporados nos mais diversos alimentos, incluindo iogurtes, queijos, sorvetes, leites fermentados e sobremesas congeladas. No entanto, existem ainda diversos problemas com relação à viabilidade e resistência das culturas probióticas nesses alimentos. Neste artigo de revisão, são abordados os aspectos tecnológicos utilizados na microencapsulação de probióticos que permitem aumentar a sua viabilidade durante a fermentação, processamento e utilização nos produtos comerciais. A microencapsulação de bactérias probióticas pode ser utilizada para aumentar a viabilidade durante o processamento, como também para liberá-las de maneira controlada no trato gastrointestinal.*

**Palavras-chave:** *encapsulação, culturas probióticas, liberação controlada, microcápsulas.*

#### ABSTRACT

*Because of their health benefits, probiotics have been incorporated into a range of dairy products, including yogurts, soft-, semi-hard and hard cheeses, ice cream, milk powders and frozen dairy desserts. However, there are still several problems with respect to the low viability of probiotic bacteria in dairy foods. This review focuses mainly on current knowledge and techniques used in the microencapsulation of probiotic microorganisms to enhance their viability during fermentation, processing and utilization in commercial products. Microencapsulation of probiotic bacteria can be used to enhance the viability during processing, and also for the targeted delivery in gastrointestinal tract.*

**Key words:** *encapsulation, probiotics, controlled release, microcapsules.*

#### INTRODUÇÃO

Os probióticos são definidos como adjuntos dietéticos microbianos que afetam benéficamente a

fisiologia do hospedeiro pela regulação da imunidade local e sistêmica e pela melhora do balanço nutricional e microbiano no trato intestinal. Um microrganismo é considerado probiótico se for habitante normal do trato gastrointestinal, sobreviver à passagem pelo estômago e manter a viabilidade e atividade no intestino (SAAD, 2006; COOK et al., 2012).

A influência benéfica dos probióticos sobre a microbiota intestinal humana inclui fatores como efeitos antagônicos, competição e efeitos imunológicos, resultando em um aumento da resistência contra microrganismos patogênicos. Assim, a utilização de culturas bacterianas probióticas estimula a multiplicação de bactérias benéficas, em detrimento da proliferação de bactérias potencialmente prejudiciais, reforçando os mecanismos naturais de defesa do hospedeiro (COOK et al., 2002).

Essas culturas estão localizadas em diferentes regiões do trato intestinal, presentes em grupos específicos de microrganismos, como bactérias lácticas e bífidas, que modulam a microbiota nesses espaços, principalmente devido aos seus produtos de metabolismo (MENEZES & DURRANT, 2008; FRITZEN-FREIRE et al., 2013). Essa microbiota desejável protege o hospedeiro, dificultando o crescimento de microrganismos patogênicos. Além disso, pode auxiliar na manutenção de sua saúde, impedindo a reabsorção de compostos aminados indesejáveis, decompondo ácidos biliares, biodisponibilizando minerais como cálcio, ferro e outros nutrientes, diminuindo a incidência de

<sup>1</sup>Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima s/n, Santa Maria, Brasil. E-mail cristiano.ufsm@gmail.com. \*Autor para correspondência.

doenças coronárias e ajudando a digestão. Cabe destacar, ainda, que essa microbiota estimula o sistema imunológico e atividades antitumorogênica e antimutagênica (BUJALANCE et al., 2007; COOK et al., 2012), além de favorecer o metabolismo de algumas substâncias, como a lactose, em indivíduos lactase não persistentes por meio de suas enzimas (OUWEHAND & SALMINEN, 1998).

Diferentes técnicas para aumentar a resistência desses microorganismos contra condições adversas têm sido propostas, incluindo a seleção adequada em presença do ácido estomacal e de cepas resistentes à bile, uso de duas fases fermentativas, adaptação ao estresse, incorporação de micronutrientes, como peptídeos e aminoácidos, e a microencapsulação (FÁVARO-TRINDADE et al., 2008; BRINQUES & AYUB, 2011; CHAMPAGNE et al., 2011).

A microencapsulação pode ser definida como a tecnologia de recobrir partículas ou pequenas gotas de material líquido ou gasoso, formando cápsulas em miniatura, as quais podem liberar seu conteúdo em taxas controladas e/ou sob condições específicas. Os propósitos gerais da microencapsulação consistem na possibilidade de fazer um líquido comportar-se como sólido, separar materiais reativos, reduzir a toxicidade do material ativo, controlar a liberação do material, reduzir volatilidade de líquidos, mascarar gosto de componentes amargos, aumentar a *shelf-life* e proteger contra a luz, água, e calor (FÁVARO-TRINDADE et al., 2008; MIRZAEI et al., 2012).

Devido à importância desse assunto atualmente para a área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, neste artigo de revisão, serão abordados os aspectos tecnológicos utilizados na microencapsulação de culturas probióticas que permitem aumentar a sua viabilidade durante a fermentação, processamento e utilização nos produtos alimentícios.

#### Probióticos e suas características

Os principais probióticos são pertencentes aos gêneros *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*, que fazem parte da microbiota do intestino humano, pois exercem efeitos benéficos para a saúde humana e melhoram as propriedades da microbiota nativa (MENEZES & DURRANT, 2008; COOK et al., 2012). A implantação e sobrevivência desses microrganismos quando administrados como probióticos dependerá grandemente do tipo de dieta consumida pelo hospedeiro, a qual pode promover sua proliferação. A predominância de bifidobactérias nas paredes do cólon proporciona competição por espaço

e nutrientes às custas de gêneros menos desejáveis (COLLADO et al. 2006).

A habilidade de micro-organismos probióticos em sobreviver e se desenvolver no hospedeiro influencia fortemente nos seus efeitos probióticos. O micro-organismo que se mostrar metabolicamente estável no produto, sobreviver à passagem pelo trato digestivo com alta viabilidade poderá apresentar efeitos benéficos quando presente no intestino do hospedeiro (ANAL & SINGH, 2007).

Um alimento vendido com alegações de efeitos benéficos à saúde, a partir da adição de probióticos, deve conter um número de células viáveis de culturas probióticas de, pelo menos,  $10^6$  a  $10^7$  ufc  $g^{-1}$  (FAO/OMS, 2001). No entanto, ainda existem diversos problemas no que diz respeito à baixa viabilidade das bactérias probióticas em alimentos lácteos. Vários fatores que afetam a viabilidade dos probióticos têm sido relatados em produtos lácteos fermentados, incluindo a acidez titulável, o valor de pH e peróxido de hidrogênio, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura de armazenamento, a interação com outros micro-organismos contidos nos produtos, a concentração de ácido lático e acético, além da concentração de proteínas (KAILASAPATHY & SUPRIADI, 1996; CASTRO-CISLAGHI et al., 2012). A sobrevivência é, evidentemente, essencial para que esses micro-organismos consigam atingir e povoar o intestino humano, sendo um dos fatores mais importantes para que as bactérias probióticas promovam os benefícios para a saúde do hospedeiro (ANAL & SINGH, 2007; CHAMPAGNE et al., 2011).

#### A técnica de microencapsulação

A microencapsulação é uma tecnologia que permite recobrir partículas ou pequenas gotas de material líquido ou gasoso, formando cápsulas em miniatura, as quais podem liberar seu conteúdo em taxas controladas e/ou sob condições específicas. Tais microcápsulas podem apresentar tamanho na faixa de frações de micron até vários milímetros, possuindo diferentes formas, dependendo dos materiais e métodos utilizados em sua preparação. O material externo é denominado agente encapsulante, enquanto o ingrediente interno é o material ativo (CHAMPAGNE & FUSTIER, 2007; FAVARO-TRINDADE et al., 2008; FRITZEN-FREIRE et al., 2013).

Entre os materiais que podem ser encapsulados, para aplicação na indústria alimentícia, incluem-se ácidos, bases, óleos, vitaminas, sais, gases, aminoácidos, *flavors*, corantes, enzimas e micro-organismos (AUGUSTIN et al., 2001).

O material microencapsulante geralmente é de natureza semipermeável, apresentando morfologia esférica, envolta por uma resistente membrana sólida ou sólida/líquida, com um diâmetro variando de poucos microns a 1mm (ANAL & SINGH, 2007). A técnica de encapsulação pode ter diversas aplicações na indústria de alimentos, podendo ser utilizada para estabilização de material encapsulado, controle de reações oxidativas, para a liberação controlada, para mascarar sabores, cores ou odores indesejáveis, prolongar a vida útil e proteger compostos de valor nutricional. Vários polímeros, como alginato, quitosana, carboximetilcelulose (CMC), carragena, gelatina e pectina são aplicados, utilizando várias técnicas de microencapsulação (FÁVARO-TINDADE et al., 2008; LI et al., 2009; BUREY et al., 2009).

As microcápsulas podem ser projetadas para liberação gradual de ingredientes ativos, em que o material de revestimento da cápsula pode ser selecionado para liberar o material microencapsulado em áreas específicas do organismo. Um material de revestimento deve ser capaz de resistir a condições ácidas no estômago, permitindo que os ingredientes ativos possam atravessar o estômago de maneira intacta (CHAMPAGNE et al., 2011).

Em relação à indústria de alimentos, o emprego da microencapsulação tem sido intensificado devido às novas necessidades demonstradas nas formulações dos produtos, muitas vezes, de extrema complexidade. Uma dessas necessidades está no estudo de liberação controlada (UBBINK & KRUEGER, 2006). Desse modo, a microencapsulação deixa de ser somente um método de agregação de substâncias a uma formulação alimentícia, para tornar-se uma fonte de ingredientes totalmente novos e com propriedades únicas (ANEKELLA & ORSAT, 2013).

#### Métodos utilizados para a microencapsulação de probióticos

Existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para a encapsulação de probióticos, sendo que a seleção do método é dependente da aplicação que será dada à microcápsula, do tamanho desejado das partículas, do mecanismo de liberação e propriedades biológicas e físico-químicas, tanto da cultura quanto do agente encapsulante (JACKSON & LEE, 1991; ANAL & SINGH, 2007; COOK et al., 2012).

Entre as técnicas utilizadas para a encapsulação de probióticos, estão a técnica de: i) *Spray-drying* ou atomização, em que geralmente são utilizados como materiais de revestimento

polímeros solúveis em água; ii) *Spray-congealing*, que utiliza ceras, ácidos graxos, polímeros solúveis e insolúveis em água, além de outros monômeros como material de revestimento; iii) *Fluidized-bed coating/air-suspension*, que utiliza polímeros solúveis e insolúveis em água, lipídeos e ceras como material de revestimento; iv) Extrusão, que utiliza como revestimento da cápsula polímeros solúveis e insolúveis em água; v) Coacervação ou técnica de separação de fases, que utiliza como material encapsulante polímeros solúveis em água; e vi) Método eletrostático, que utiliza como material de revestimento polímeros e outros compostos com cargas opostas (ANAL & SINGH, 2007, SUNNY-ROBERTS & KNORR, 2009). Tabela 1.

#### Resistência dos probióticos aos processos de encapsulação

Os micro-organismos probióticos encontram dificuldades de viabilidade perante as condições de temperatura e pressão osmótica durante o processo de secagem por atomização (FRITZEN-FREIRE et al., 2013). Quando a secagem por *spray* é utilizada, normalmente, uma grande parte da atividade probiótica é perdida depois de algumas semanas de armazenamento à temperatura ambiente. Isso está associado com o estresse imposto pela temperatura de processamento e mudanças bruscas da fase de secagem, sendo uma combinação que confere danos às membranas celulares e proteínas do microrganismo. Um recurso importante utilizado para melhorar a viabilidade da cultura probiótica nesse tipo de encapsulação é a adição de termoprotetores antes da secagem. Existem vários compostos com propriedades termoprotetoras que foram testados com considerável sucesso, como a trealose (SUNNY-ROBERTS & KNORR, 2009), leite desengordurado (SELMER-OLSEN et al., 1999), amido granular (CRITTENDEN et al., 2001) e combinações com prebióticos (DESMOND et al., 2002). Tais compostos demonstraram significativa contribuição na melhoria da viabilidade da cultura durante a secagem e armazenamento.

A microencapsulação por *atomização* é um processo que tem como característica a produção de grande quantidade de material. Porém, existe um alto índice de perda de viabilidade dos micro-organismos, resultante da desidratação e inativação térmica das culturas probióticas (SUNNY-ROBERTS & KNORR, 2009). Em resposta a essas limitações, a técnica possui a vantagem de ser de alta viabilidade econômica e de alta capacidade de maleabilidade na técnica para melhorar a estabilidade das culturas

Tabela 1 - Principais técnicas utilizadas para microencapsular culturas probióticas.

Técnica de microencapsulação	Tipos de material encapsulante	Características principais do processo
<i>Spray-drying</i>	Polímeros solúveis em água	Viabilidade de preparação de soluções com micro-organismos; atomização da solução que é nebulizada com a produção de uma massa de gotículas; secagem do material nebulizado por evaporação; fácil separação do produto seco formado.
Spray-congealing	Ácidos graxos, ceras polímeros solúveis e insolúveis em água, monômeros	Preparação de soluções de revestimento com a solidificação do revestimento da cápsula por congelamento, promovendo melhor agregação do material encapsulante e possibilidade de melhor remoção de solventes adjuntos.
Leito fluidizado	Polímeros solúveis e insolúveis em água, lipídeos, ceras	Preparação de soluções de revestimento com a fluidização de partículas nucleadas;
Extrusão	Polímeros solúveis e insolúveis em água	Preparação de materiais de revestimento; dispersão de materiais e fácil agregação com o composto encapsulado; dispensa tratamento térmico, o que facilita a viabilidade de materiais termolábeis.
Técnica de separação de fases/ Coacervação	Polímeros solúveis em água	Processo que envolve a associação reversível de dois polímeros; possibilidade de se trabalhar com biopolímeros com ausência de solvente orgânico e condições brandas de temperatura no processamento.
Método eletrostático	Compostos ou polímeros com cargas opostas	Possibilita melhor interação dos materiais de revestimento com os materiais a serem encapsulados através da interação de cargas opostas.

Fonte: ANAL & SING (2007); SUNNY-ROBERTS & KNORR (2009).

probióticas (PICOT & LACROIX, 2003). Em estudos conduzidos por CARVALHO et al. (2004a, 2004b), estes demonstraram que *Lactobacillus bulgaricus* sobreviveram melhor durante o armazenamento a 20°C durante 10 meses, quando foram utilizados frutose, lactose, manose, glicose, glutamato monossódico e sorbitol no material de revestimento. Em destaque, a adição de trealose, um dissacarídeo da glicose, o qual apresentou grande eficácia na proteção das células bacterianas durante o congelamento e secagem (SUNNY-ROBERTS & KNORR, 2009).

Principais polímeros utilizados na microencapsulação de probióticos

A encapsulação de probióticos em polímeros biodegradáveis possui uma série de vantagens. Depois que o material estiver revestido pela matriz encapsulante, as células probióticas tornam-se mais fáceis de manusear do que estando em suspensão ou emulsão. O número de células nas micropartículas pode ser quantificado, permitindo que a dose possa ser devidamente controlada (ANAL & SINGH, 2007).

Componentes protetores podem ser incorporados na microcápsula, aumentando assim a sobrevivência das células durante o processamento e armazenamento. Quando as microcápsulas tornam-se secas, uma nova superfície de revestimento pode ser aplicada a elas. Essa camada exterior pode ter a finalidade de melhorar a estética e as propriedades sensoriais do produto, como também conferir funcionalidade, fornecendo assim uma proteção extra para as células. Além disso, a camada de revestimento pode ter propriedades de dissolução controlada, que permitam o controle da liberação dos micro-organismos, como, por exemplo, a liberação das culturas pela mudança de pH. Uma grande diversidade de polímeros tem sido utilizada para encapsular microrganismos probióticos, conferindo proteção frente a baixos valores de pH, altas concentrações de sais biliares, além de serem empregados para aumentar a estabilidade física do micro-organismo durante o processamento (SUNNY-ROBERTS & KNORR, 2009; COOK et al., 2012).

As microcápsulas que utilizam polímeros como material de revestimento são de fácil confecção,

sendo que esses polímeros podem ser isolados de várias fontes. No entanto, a maioria das microcápsulas produzidas convencionalmente, como as cápsulas de alginato, tendem a ter muita porosidade, o que permite fácil e rápida difusão de água e outros fluidos dentro e fora da cápsula, necessitando, assim, de técnicas mais apuradas (ANAL & SINGH, 2007; SOHAIL et al., 2011).

#### Encapsulação de probióticos em carragena

A carragena é um polissacarídeo natural que é extraído de algas marinhas e é comumente usada como aditivo em alimentos. Para a dissolução desse composto, são necessárias temperaturas elevadas (entre 60 e 80°C) em concentrações variando de 2 a 5% (KLEIN & VORLOP, 1985). O processo de gelificação de k-carragena depende diretamente da mudança na temperatura. As microcápsulas são formadas através do gotejamento em solução composta com a mistura do polímero a ser utilizado e a solução de potássio, como KCl. Porém, AUDET e colaboradores (1988) demonstraram que o KCl confere um efeito inibidor em algumas linhagens de microrganismos como *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*. Estudos conduzidos por AUDET et al. (1990, 1991) sugeriram uma alternativa para esse problema através da combinação de k-carragena e outro polímero como a goma de alfarroba, para fortalecer a força do gel encapsulante. OUELLET & LACROIX (1994) imobilizaram as células produzidas por essa tecnologia que exibiram importantes alterações fisiológicas e aumento da tolerância ao estresse. A tolerância dessas células a estresses, como o congelamento, secagem, peróxido de hidrogênio e condições simuladas do trato gastrointestinal, aumentaram significativamente com o tempo e, após 15 dias de estocagem, apresentaram uma tolerância maior do que as células produzidas convencionalmente.

#### Encapsulação de probióticos em alginato

Alginatos são polímeros lineares de alta massa molar com seções rígidas e regiões flexíveis, formados por monômeros de ácido  $\beta$ -D-Maurônico (M) e ácido  $\alpha$ -L-Gulurônico (G), ligados de forma linear por ligações glicosídicas  $\alpha(1,4)$ , contendo três tipos de estruturas de blocos: blocos de ácido  $\beta$ -D-Manurônico (M), blocos de ácido  $\alpha$ -L-Gulurônico (G) e uma mistura desses blocos (MG) (COTRELL & KOVACS, 1980).

O processo de polimerização interfacial é instantâneo, quando ocorre a adição de uma

solução de alginato de sódio numa solução contendo cálcio, promovendo a precipitação de alginato de cálcio, seguido de uma geleificação mais gradual. O tamanho das partículas geralmente é dependente da viscosidade da solução do polímero, do diâmetro do orifício que injeta o alginato de sódio no sistema e da distância entre a saída da solução de alginato de sódio e a solução geleificante (ANAL & STEVENS, 2005; SOHAIL et al., 2011). O método convencional de encapsulação com o alginato de sódio em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) tem sido utilizado para encapsular *L. acidophilus* para proteger esse microrganismo das condições ácidas do fluido gástrico. Estudos têm demonstrado que o sistema cálcio-alginato encapsulando culturas celulares protege de maneira mais efetiva, demonstrado pelo aumento da sobrevivência de bactérias em diferentes condições, do que as culturas não encapsuladas. Os resultados desses estudos demonstram que a viabilidade das culturas microencapsuladas em fluido gástrico simulado aumenta com o tamanho da cápsula. No entanto, HANSEN et al. (2002) mostraram que cápsulas de alginato de cálcio com tamanho superior a 1 milímetro podem causar alteração na textura nos alimentos em que foram aplicados e que pequenas cápsulas, de tamanho inferior a 100 micrômetros, não protegem significativamente as culturas em fluido gástrico, em comparação com as células livres.

#### Encapsulação de probióticos em acetato ftalato de celulose

O acetato ftalato de celulose (CAP) é um material termoplástico, podendo-se obter filmes pela sua extrusão ou pelo uso de solventes. Esse composto é derivado da celulose, que é um polímero linear polidisperso de origem vegetal e constituído por ligações  $\beta$ -1,4 de resíduos de D-glicose (ANAL & SINGH, 2007).

O CAP é amplamente utilizado como material de revestimento entérico para a liberação controlada de substâncias essenciais para o trato gastrointestinal. Essas propriedades devem-se aos seus grupos ftalatos ionizáveis, sendo esse polímero de celulose insolúvel em meio ácido, a pH 5 ou mais baixos, sendo solúvel em pH superior a 6. Além disso, o CAP é fisiologicamente inerte quando administrado *in vivo* (FÁVARO-TRINDADE et al., 2008).

Para a microencapsulação de microrganismos, o CAP é utilizado em diversas pesquisas utilizando determinadas técnicas. RAO et al. (1989) relataram a microencapsulação de *Bifidobacterium pseudolongum* em CAP utilizando a técnica de emulsão. As culturas sobreviveram em maior número

( $10^9$ ufc mL<sup>-1</sup>) em meio ácido do que as culturas não encapsuladas, que não apresentaram viabilidade alguma quando expostos ao suco gástrico pelo período de uma hora. Culturas de *Bifidobacterium lactis* e *Lactobacillus acidophilus* também foram microencapsuladas em CAP, utilizando o método de secagem por atomização demonstrando que ocorreu resistência das culturas microencapsuladas em altas concentrações de ácido e de sais biliares (FÁVARO-TRINDADE & GROSSO, 2002).

#### Microencapsulação de probióticos em proteínas

A gelatina constitui um composto muito útil para a microencapsulação, devido às suas propriedades gelificantes termo-reversíveis, sendo que uma formulação a base de gelatina se gelifica quando é resfriada e se liquefaz quando é subsequentemente aquecida. Esses hidrocoloides são miscíveis em pH>6, devido à natureza de suas cargas elétricas (HEIDEBACH et al., 2009).

Em 1993, HYNDMAN et al. utilizaram concentrações de 24% de gelatina para encapsular *Lactobacillus lactis*, obtendo resultados promissores de resistência a baixos valores de pH. Em 2003, GUERIN et al. encapsularam células de *Bifidobacterium bifidum* em gel composto por alginato, pectina e proteínas de soro de leite. Os pesquisadores avaliaram o efeito protetor do gel em relação à cultura em condições simuladas de pH gástrico e soluções de sais, sendo que, após 1 hora de incubação em solução ácida (pH 2,5), a contagem das células não encapsuladas diminuiu em quase 5 log em comparação às células encapsuladas, sendo que essas culturas sofreram a redução de apenas 1log .

#### Microencapsulação de probióticos em quitosana

A quitosana pode ser isolada a partir de conchas de crustáceos, cutículas de insetos e de membrana de fungos. As propriedades da quitosana variam de acordo com a sua fonte. Os termos quitina e quitosana não se referem a dois compostos específicos, mas a tipos de polímeros contendo os dois resíduos de monômeros de anidro-N-acetil-D-glicosamina e anidro-D-glucosamina , respectivamente (ANAL & SINGH, 2007).

Com o propósito de obter estabilidade suficiente, as cápsulas de gel de quitosana podem ser reticuladas ionicamente com polifosfatos (ANAL & STEVENS, 2005) e alginato de sódio (ANAL et al., 2003).

A sobrevivência de culturas probióticas encapsuladas em quitosana e aplicadas em iogurte foi estudada por KRASAEKOOPT (2003). Nesse

trabalho, foi utilizada a cultura de *Lactobacillus acidophilus* 547, sendo que a sobrevivência das células encapsuladas foi maior do que as células livres em aproximadamente 1log.

#### Microencapsulação de probióticos em amido

O amido resistente pode ser utilizado para manter a viabilidade das culturas probióticas no intestino grosso. Esse composto também oferece uma superfície ideal para a aderência dos probióticos durante o processamento, armazenamento e trânsito através no trato gastrointestinal (ANAL & STEVENS, 2005; LI et al., 2009).

A aderência dos microrganismos ao amido pode fornecer também novas vantagens nas tecnologias empregando probióticos, no que tange a viabilidade e atividade biológica destes probióticos no trato gastrointestinal (CRITTENDEN et al., 2001).

Estudos conduzidos por IYER & KAILASAPATHY (2005); SULTANA et al. (2000) demonstraram que bactérias ácido lácticas encapsuladas com amidos modificados podem sobreviver por mais de 6 meses em temperatura ambiente em condições normais de atmosfera e umidade e de pelo menos 18 meses quando em armazenamento congelado.

As culturas probióticas microencapsuladas podem ser utilizadas em muitos produtos lácteos fermentados, como iogurte, queijo, cremes e sobremesas congeladas, como também para a produção de biomassa. Estando encapsulados, os probióticos estão protegidos contra diversos agentes, como os bacteriófagos, além das condições adversas do suco gástrico e de congelamento. Dessa forma, a fabricação de produtos lácteos fermentados torna-se facilitada pela encapsulação destes, possuindo, dessa maneira, maior estabilidade durante o armazenamento do produto (ANAL & SINGH, 2007; KOMATSU et al., 2008).

## CONCLUSÃO

A utilização dos processos de microencapsulação de probióticos é uma alternativa promissora para solucionar os problemas que esses microrganismos encontram no processamento de alimentos. Porém, existem diversos desafios para selecionar o processo de microencapsulação e os materiais encapsulantes mais adequados. A manutenção da viabilidade das células probióticas em condições de baixo pH e elevadas concentrações de sais biliares é um dos pontos primordiais para o sucesso da encapsulação desses microrganismos.

## RERERÊNCIAS

- ANAL, A.K.; SINGH, K. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, p.240-251, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224407000350>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi:10.1016/j.tifs.2007.01.004.
- ANEKELLA, K.; ORSAT, V. Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v.50, p.17-24, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643812003313>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.lwt.2012.08.003.
- AUDET, P. et al. Batch fermentations with a mixed culture of lactic acid bacteria immobilized separately in k-carrageenan locust bean gum gel beads. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.32, p.662-668, 1990. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00164736>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1007/BF00164736.
- AUDET, P. et al. Effect of medium and temperature of storage on viability of LAB immobilized in k-carrageenan-locust bean gum gel beads. **Biotechnology Techniques**, v.4, p.307-312, 1991. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF02438669>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1007/BF02438669.
- AUGUSTIN, M.A. et al. Microencapsulation of food ingredients. **Food Australia**, v.53, p.220-223, 2001.
- BRINQUES, G.B.; AYUB, M.A.Z. Effect of microencapsulation on survival of *Lactobacillus plantarum* in simulated gastrointestinal conditions, refrigeration and yogurt. **Journal of Food Engineering**, v.103, p.123-128, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877410004942>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.10.006.
- BUJALANCE, C. et al. Probiotic strain of *Lactobacillus plantarum* stimulates lymphocyte responses in immunologically intact and immunocompromised mice. **International Journal of Food Microbiology**, v.113, p.28-34, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160506004417>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2006.07.014.
- BURAY, P. et al. Gel particles from spray-dried disordered polysaccharides. **Carbohydrate Polymers**, v.76, p.206-213, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861708004761>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.10.001.
- CARVALHO, A.S. et al. Effects of various sugars added to growth and drying media upon thermotolerance and survival throughout storage of freeze-dried *Lactobacillus delbrueckii* spp *bulgaricus*. **Biotechnology Progress**, v.20, p.248-254, 2004a. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1021/bp034165y/abstract>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1021/bp034165y.
- CARVALHO, A.S. et al. Relevant factors for the preparation of freeze-dried lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v.14, p.835-847, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958694604000378>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.idairyj.2004.02.001.
- CASTRO-CISLAGHI, F.P. et al. Bifidobacterium Bb-12 microencapsulated by spray drying with whey: Survival under simulated gastrointestinal conditions, tolerance to NaCl, and viability during storage. **Journal of Food Engineering**, v.113, p.186-193, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877412002920>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.06.006.
- CHAMPAGNE C.P.; FUSTIER P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. **Current Opinion in Biotechnology**, v.18, p.184-190, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166907000328>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.copbio.2007.03.001.
- CHAMPAGNE C.P. et al. Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices. **International Journal of Food Microbiology**, v.149, p.185-193, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160511003795>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.005.
- COLLADO, A.C. et al. *In vitro* analysis of probiotic strain combinations to inhibit pathogen adhesion to human intestinal mucus. **Food Research International**, v.15 n.4, p.570-575, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996906002055>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.foodres.2006.11.007.
- COOK, M.T. et al. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. **Journal of Controlled Release**, v.162, p.56-67, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168365912004968>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1016/j.jconrel.2012.06.003.
- COTRELL, I.W.; KOVACS, P. **Handbook of water soluble gums and resins**. New York: McGrawHill. 1980. Total de p. 360.
- CRITTENDEN, R. et al. Adhesion of Bifidobacteria to granular starch and its implications in probiotic technologies. **Applied and Environmental Microbiology**, v.67, p.3469-3475, 2001. Disponível em: <<http://aem.asm.org/content/67/8/3469.full.pdf+html>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1128/AEM.67.8.3469-3475.2001.
- DESMOND, C. et al. Improved survival of *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 in spray-dried powders containing gum acacia. **Journal of Applied Microbiology**, v.93, p.1003-1011, 2002. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2672.2002.01782.x/abstract>>. Acesso em: 02 mar. 2013. doi: 10.1046/j.1365-2672.2002.01782.x.
- FAVARO-TRINDADE, C.S.; GROSSO, C.R.F. Microencapsulation of *L. acidophilus* (La-05) and *B. lactis* (Bb-12) and evaluation of their survival at the pH values of the stomach and in bile. **Journal of Microencapsulation**, v.19, p.485-494, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/02652040210140715>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1080/02652040210140715.
- FÁVARO-TRINDADE, C.S. et al. Revisão: microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.11, p.103-112, 2008.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. 2001. 34p. Disponível em:

- em: <[ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/probioreport\\_en.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/probioreport_en.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2012. [Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation].
- FRITZEN-FREIRE, C.B. et al. Effect of microencapsulation on survival of Bifidobacterium BB-12 exposed to simulated gastrointestinal conditions and heat treatments. **LWT- Food Science and Technology**, v.50, p.39-44, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.037>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/j.lwt.2012.07.037.
- GUERIN, D. et al. Protection of Bifidobacteria encapsulated in polysaccharide-protein gel beads against gastric juice and bile. **Journal of Food Protection**, v.66, p.2076-2084, 2003.
- HEIDEBACH, T. et al. Microencapsulation of probiotic cell by means of rennet-gelation of milk proteins. **Food Hydrocolloids**, v.23, p.1670-1677, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.006>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/j.foodhyd.2009.01.006.
- HYNDMAN, C.L. et al. Microencapsulation of Lactococcus lactis within cross-linked gelatin membranes. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.56, p.259-263, 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jctb.280560307>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1002/jctb.280560307.
- IYER, C.; KAILASAPATHY, K. Effect of co-encapsulation of probiotics with prebiotics on increasing the viability of encapsulated bacteria under in vitro acidic and bile salt conditions and in yogurt. **Journal of Food Science**, v.70, p.18-23, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09041.x>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.tb09041.x.
- KAILASAPATHY, K.; SUPRIADI, D. Effect of whey protein concentrate on the survival of Lactobacillus acidophilus in lactose hydrolysed yoghurt during refrigerated storage. **Milchwissenschaft**, v.51, p.565-569, 1996.
- KLEIN, J.; VORLOP, D.K. Immobilization techniques: cells. In COONEY, C.L.; HUMPHREY, A.E. (Eds.). **Comprehensive biotechnology**. p.542-550, 1985. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00063-5>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/B978-0-08-088504-9.00063-5.
- KRASAEKOOP, W. et al. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International Dairy Journal**, v.13, p.3-13, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00155-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00155-3)>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/S0958-6946(02)00155-3.
- LI, B. et al. Fabrication of starch-based microparticles by an emulsification-crosslinking method. **Journal of Food Engineering**, v.92, p.250-254, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.08.011>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2008.08.011.
- MENEZES, C.R.; DURRANT, L.R. Xilooligossacarídeos: produção, aplicações e efeitos na saúde humana. **Ciência Rural**, v.38, p.587-592, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000200050>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1590/S0103-84782008000200050.
- MIRZAEI, H. et al. Effect of calcium alginate and resistant starch microencapsulation on the survival rate of Lactobacillus acidophilus La5 and sensory properties in Iranian white brined cheese. **Food Chemistry**, v.132, p.1966-1970, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.033>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.12.033.
- OuweHAND, A.; SALMINEN J. The health effects of culture milk products with viable and non viable bacteria. **International Dairy Journal**, v.8, p.749-758, 1998. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00114-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00114-9)>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/S0958-6946(98)00114-9.
- PICOT, A.; LACROIX, C. Effects of micronization on viability and thermotolerance of probiotic freeze-dried cultures. **International Dairy Journal**, v.13, p.455-462, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00050-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00050-5)>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/S0958-6946(03)00050-5.
- SAAD, S.M.I. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.42, p.1-16, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-93322006000100002>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1590/S1516-93322006000100002.
- SOHAIL, A. et al. Survivability of probiotics encapsulated in alginate gel microbeads using a novel impinging aerosols method. **International Journal of Food Microbiology**, v.145, p.162-168, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.12.007>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.12.007.
- SULTANA, K. et al. Encapsulation of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. **International Journal of Food Microbiology**, v.62, p.47-55, 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00380-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00380-9)>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/S0168-1605(00)00380-9.
- SUNNY-ROBERTS, E.O.; KNORR, D. The protective effect of monosodium glutamate on survival of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus rhamnosus* E-97800 (E800) strains during spray-drying and storage in trehalose-containing powders. **International Dairy Journal**, v.19, p.209-214, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.10.008>>. Acesso em: 2 mar. 2013. doi: 10.1016/j.idairyj.2008.10.008.