

## Microencapsulação de compostos bioativos pelo método de extrusão

### Microencapsulation of bioactive compounds by Extrusion Method

Mariana de Araújo Etchepare<sup>1</sup>, Maria Fernanda da Silveira Cáceres de Menezes<sup>1</sup>, Luiza Zancan Rodrigues<sup>2</sup>, Cristiane Franco Codevilla<sup>3</sup>, Cristiano Ragagnin de Menezes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutorandas em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

<sup>2</sup>Graduanda em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

<sup>3</sup>Pós-doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

<sup>4</sup>Professor Doutor, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

#### Resumo

*O desenvolvimento de alimentos funcionais através da adição de compostos bioativos enfrenta muitas barreiras na produção de novos alimentos. A microencapsulação é uma ferramenta útil para viabilizar a proteção destes compostos nos alimentos, em particular, probióticos, vitaminas, minerais, ácidos graxos, etc. Diversos métodos de microencapsulação têm sido utilizados com o intuito de melhorar a utilização destes ingredientes promovendo a entrega bem sucedida destas substâncias bioativas no trato gastrointestinal. Dentre as técnicas de microencapsulação de compostos bioativos, a extrusão vem sendo empregada para a obtenção de micropartículas. Nesta revisão, serão abordados tópicos a respeito de compostos bioativos e como melhorar sua estabilidade através da microencapsulação, dando ênfase ao método e estudos sobre a técnica de extrusão.*

**Palavras-chave:** Microencapsulação. Compostos bioativos. Extrusão. Partícula. alimento

#### Abstract

*The development of functional foods by adding bioactive faces many hurdles in the production of new foods. Microencapsulation is a useful tool to facilitate the protection of these compounds in foods, in particular, probiotics, vitamins, minerals, fatty acids, etc. Various microencapsulation methods have been used in order to improve the use of these ingredients promoting the successful delivery of these bioactive substances in the gastrointestinal tract. Among the microencapsulation techniques bioactive compounds, extrusion has been employed to obtain microparticles. In this review we will discuss topics regarding bioactive compounds and how to improve its stability through microencapsulation, emphasizing the method and studies on the extrusion technique.*

**Keywords:** Microencapsulation. Bioactive compounds. Extrusion. Particle. Food

## 1 Introdução

A microencapsulação compreende um conjunto de diversas técnicas que permitem o desenvolvimento de formulações, em que o seu conteúdo é protegido e sua liberação pode ser modificada com o objetivo de atuar num determinado local, por um determinado período de tempo e uma velocidade específica (Suave et al., 2006).

Esta técnica viabiliza a proteção de compostos, sendo empregada em diversas áreas, como na indústria farmacêutica, de alimentos e de cosméticos, sendo o seu principal objetivo proteger o material encapsulado das condições adversas do meio e liberá-lo em seu sítio de ação em quantidade e no momento adequado para exercer a função desejada (Shahidi; Han, 1993; Gibbs, 1999).

O material encapsulado é chamado de recheio ou núcleo e o material que forma a cápsula chama-se de encapsulante, cobertura ou parede (Gibbs, 1999). As cápsulas geralmente classificadas por tamanho em três categorias: macro- ( $>5.000 \mu\text{m}$ ), micro- ( $0.2 - 5.000 \mu\text{m}$ ) e nanocápsulas ( $<0.2\mu\text{m}$ ) e podem ser classificadas como sistema do tipo reservatório, este sendo considerado o grupo das verdadeiras cápsulas, onde o núcleo é nitidamente concentrado na região central, circundado por um filme definido e contínuo do material de parede; ou classificadas como sistema matricial, chamadas de microesferas ou micropartículas, onde o núcleo se encontra totalmente disperso em uma matriz, na qual uma pequena fração do material encapsulado permanece exposta na superfície (King, 1995; Ré, 1998).

Na indústria de alimentos, a aplicação da microencapsulação visa à proteção de compostos bioativos, que por sua vez são constituintes que exibem potente atividade biológica e são naturalmente presentes em pequenas quantidades nos alimentos (Cozzolino, 2009).

A ingestão de compostos bioativos naturais através dos alimentos é de grande interesse, mas as dificuldades associadas com a susceptibilidade desses compostos às condições de processamento de alimentos e sua

instabilidade química têm gerado vários estudos visando buscar uma melhor biodisponibilidade destes compostos (Wang et al., 2013; Chew et al., 2015).

Várias limitações precisam ser superadas a fim de aumentar a utilização de compostos bioativos em produtos no mercado, como por exemplo, problemas de instabilidade como reações de autooxidações, epimerização, instabilidade de variação de pH e ao conteúdo gástrico, além da baixa biodisponibilidade (Wisuitiprot et al., 2011).

Dentre as técnicas de microencapsulação de compostos bioativos, a extrusão vem sendo empregada para a obtenção de micropartículas visando à proteção destes conteúdos. Nesta revisão, serão abordados tópicos a respeito de Compostos Bioativos e a aplicação da microencapsulação nessas substâncias, enfatizando o método e os estudos relacionados à técnica de extrusão.

## 2 Compostos Bioativos

Alimentos de origem vegetal são fontes de energia, proteína, vitaminas e minerais, são as principais fontes de vitamina C, folato, fibras e compostos bioativos, dos quais o metabolismo humano necessita. Inúmeros estudos epidemiológicos comprovam os benefícios dos compostos bioativos, devido à elevada presença de frutas e hortaliças na dieta e demonstram ser essenciais para a longevidade e eficientes na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis, como doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer (Bastos et al., 2009; Pinto, 2008).

Os compostos bioativos presentes nos alimentos podem agir de diferentes formas, tanto no que se refere aos alvos fisiológicos como aos seus mecanismos de ação. A ação antioxidante, comum nesses compostos, deve-se ao potencial de oxidação-redução de determinadas moléculas, à capacidade dessas moléculas em competir por sítios ativos e receptores nas diversas estruturas celulares ou, ainda, à modulação da expressão de genes que codificam proteínas envolvidas em mecanismos intracelulares de defesa contra processos oxidativos degenerativos de estruturas celulares (DNA, membranas). Um exemplo

consiste nos compostos fenólicos, que são metabólitos secundários de plantas e estão presentes em todos os vegetais consumidos como alimentos. Inúmeras moléculas já foram identificadas, as quais são agrupadas em classes em função de sua estrutura química. A capacidade dessas substâncias em sequestrar radicais livres e metais pró-oxidantes explicam, em parte, a correlação entre a ingestão de compostos fenólicos e a redução do risco de doenças, entre outras (Bastos et al., 2009; Pinto, 2008).

Os compostos fenólicos são responsáveis pelo sabor e aroma característicos das bebidas de café, por exemplo. Abrahão et al. (2010) avaliaram a quantidade de alguns dos compostos bioativos de extratos de cafés (verde e torrado) de qualidade diferenciadas (qualidade superior e inferior) e avaliaram a capacidade *in vitro* antioxidante destes. De acordo com os resultados encontrados por estes autores, no grão verde, houve uma variação significativa nos teores de fenólicos entre os padrões de bebidas analisados, o que não ocorreu com os grãos torrados. A bebida de qualidade superior destacou-se com o maior teor de fenólicos no grão verde e maior perda desses compostos com a torração. A bebida de qualidade inferior, apesar de apresentar um teor de compostos fenólicos totais mais baixo, demonstrou uma maior termoestabilidade, ou seja, menor perda desses compostos durante a torração. Em síntese, o café torrado apresentou menores valores de compostos fenólicos totais e maiores teores de ácido 5-cafeoilquínico comparados ao café verde analisado, e quanto a capacidade sequestrante de radicais livres os cafés torrados apresentaram-se superiores, quando comparados ao antioxidante padrão BHT.

Outro exemplo de compostos bioativos é o resveratrol (trans-3,5,4'-triidroxiestilbeno). Este composto é definido como uma fitoalexina composta por dois anéis fenólicos unidos por uma dupla ligação, existindo de duas formas: trans-resveratrol e cis-resveratrol, sendo o trans-resveratrol (Figura 1) a forma mais estável, a qual é encontrada em uvas, bem como no vinho tinto (Bastos et al., 2009).

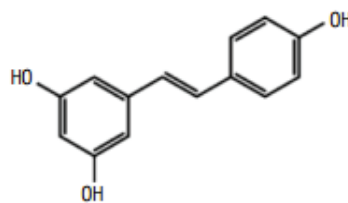


Figura 1 – Estrutura do trans-resveratrol. Fonte: Bastos et al., (2009).

A curcumina é um pigmento fenólico de cor amarela obtido a partir da cúrcuma (*Curcuma longa* L.), pertencente à família da Zingiberaceae, seu extrato cru contém em torno de 70% a 76% de curcumina. A atividade antioxidante da curcumina (Figura 2) tem sido atribuída aos seus grupos hidroxil e metóxi. As pesquisas demonstram que a curcumina possui ação antiinflamatória, antibacteriana, antiviral, antifúngica e antitumoral (Bastos et al., 2009).

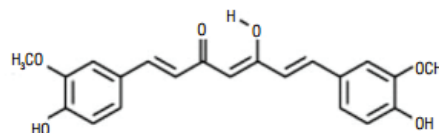


Figura 2 – Estrutura da Curcumina (enol). Fonte: Bastos et al. (2009).

Outros exemplos de compostos bioativos e suas fontes alimentares encontram-se expostos na tabela 1.

Tabela 1 – Exemplos de compostos bioativos e suas fontes alimentares

Compostos bioativos	Fontes alimentares
Resveratrol	Uvas ( <i>Vitis vinifera</i> )
Curcumina	Cúrcuma ( <i>Curcuma longa</i> )
Genisteína	Soja ( <i>Glycine max</i> )
Quercetina	Frutas cítricas, maçã
Sulforafano	Crucíferas
Capsaicina	Pimenta vermelha ( <i>Capsicum annum</i> )
Indol-3-carbinol	Crucíferas
Ácido elágico	Romã ( <i>Punica granatum</i> )
6-Gingerol	Gengibre ( <i>Zingiber officinale</i> )
Catequinas	Chá verde ( <i>Camellia sinensis</i> )

Fonte: Adaptado de Bastos et al. (2009)

Apesar das potencialidades apresentadas por estes compostos bioativos, sabe-se que estes são extremamente instáveis a altas temperaturas, assim como na presença de luz e de oxigênio (Bagetti, 2009). Uma alternativa para melhorar a

estabilidade destes compostos bioativos em condições ambientais adversas, como na estocagem e processamento, e preservar sua atividade antioxidante e biodisponibilidade, consiste na técnica de microencapsulação.

A microencapsulação pode ser considerada como um método alternativo para aumentar a estabilidade destes compostos em condições ambientais adversas, tais como armazenamento e processamento, preservando sua atividade antioxidante, reduzindo as interações do núcleo com fatores ambientais, retardando as alterações que podem resultar em perda de aroma, alteração de cor ou perda do valor nutricional (Depypere et al., 2003).

Sendo assim, a microencapsulação de compostos bioativos tem sido utilizada para proteger diversos produtos como óleos, ácidos, bases, vitaminas, sais, gases, aminoácidos, corantes, flavorizantes, extratos de plantas, enzimas, microrganismos, entre outros (Depypere et al., 2003; Pszczola, 1998; Reineccius, 1991; Sousa et al., 2015).

A aplicação de compostos bioativos microencapsulados como ingredientes funcionais em vários alimentos e bebidas apresentam um potencial significativo, uma vez que podem permitir o enriquecimento de vários alimentos com antioxidantes naturais e propriedades funcionais (Diplock et al., 1999).

Essas partículas que carregam esses compostos, ao serem inseridas em alimentos, não devem alterar negativamente suas características físicas além de, liberar o material encapsulado nos locais de ação desejados (como por exemplo: boca, estômago, intestino delgado e cólon) e modular as propriedades físico-químicas e sensoriais dos alimentos, como aparência, textura, estabilidade e sabor (Van Denberg, 2008).

Em estudos de Bakowska-Barczak e Kolodziejczyk (2011), Sansone et al. (2011a) e Sansone et al. (2011b) foi avaliado a atividade antioxidante de compostos bioativos microencapsulados, e concluiu-se que a atividade permaneceu inalterada ou apresentou redução de aproximadamente 10 % durante o período de 6 a 12 meses de armazenamento.

Nori et al. (2011) encapsulou extrato de própolis por coacervação complexa com proteína isolada de soja e pectina como agente encapsulante. O processo de encapsulação

mostrou-se efetivo para preservar os compostos fenólicos e flavonoides do extrato durante 6 meses de armazenamento, preservando também a atividade antioxidante e antimicrobiana.

Extratos liofilizados de erva mate (*Ilex paraguariensis*), ricos em compostos fenólicos, foram encapsulados em matrizes de alginato de cálcio e alginato de cálcio com revestimento de quitosana, pelas técnicas de coacervação simples e complexa. Foi observado que as microcápsulas de alginato de cálcio com o revestimento apresentaram menor teor de compostos fenólicos e menor percentual de liberação destes compostos em água (Deladino et al., 2008).

RomoHualde et al. (2012) encapsulou extrato de pimenta vermelha (*Capsicum annum* L.), rico em pró-vitamina A e vitamina E, pela técnica de spray-dryer utilizando goma arábica. Neste estudo os autores observaram que as microcápsulas apresentaram estabilidade térmica até 200°C, além de apresentar maior viabilidade dos compostos durante os 35 dias de armazenamento.

Licopeno foi encapsulado com  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ -ciclodextrinas, pela técnica de liofilização e pelo processo de extração em fluido supercrítico. As microcápsulas elaboradas por liofilização, apresentaram rendimento superior ao obtido para as elaboradas pelo processo de extração em fluido supercrítico (93,8% e 67,5% respectivamente), sendo a  $\beta$ -ciclodextrina, o material de parede que proporcionou maior estabilidade para o licopeno após 6 meses de armazenamento (Blanch et al., 2007).

Extratos de groselha preta (*Ribes nigrum* L.) foram microencapsulados em matriz de inulina e maltodextrinas com três diferentes graus de dextrose equivalente (DE11, DE18 e DE21), pela técnica de *spraydryer*. A maltodextrina DE11 apresentou maior rendimento, assim como ofereceu maior proteção para os compostos fenólicos durante armazenamento de 12 meses a 8° e 25°C, mantendo a atividade antioxidante destes compostos (Bakowska-Barczak; Kolodziejczyk, 2011).

Nota-se que diversas técnicas podem ser utilizadas para microencapsulação de compostos bioativos, e a escolha depende da aplicação que será dada à microcápsula, tamanho, mecanismo de liberação e propriedades físico-químicas, tanto do material ativo a ser encapsulado,



quanto do agente encapsulante (Jackson; Lee, 1991).

Lambert et al., (2008) afirmam que algumas técnicas disponíveis, tais como secagem por atomização ou envolvimento lipossômico, podem não ser adequadas para a microencapsulação de certos compostos bioativos, pois requerem o emprego de altas temperaturas ou solventes orgânicos, o que pode ser prejudicial ao material que está sendo encapsulado. No entanto, a utilização de outras técnicas de encapsulação como, por exemplo, a extrusão pode conferir maior proteção aos compostos encapsulados em função das condições utilizadas para a produção das micropartículas (Krasaekoopt et al., 2003).

### 3 Método de Extrusão para Microencapsulação

A extrusão é a técnica mais comum para a transformação de hidrocolóides em microcápsulas. Trata-se de uma técnica simples, barata e de condições suaves que não agridem o material a ser encapsulado (King, 1995; Mortazavian et al., 2007).

O método consiste em incorporar o material a encapsular numa solução de material encapsulante, homogeniza-se essa amostra e depois, essa mistura sofre extrusão gota a gota, através de uma pipeta de calibre reduzido ou de uma seringa, para uma solução, geralmente cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) (Krasaekoopt; Bhandari; Deeth, 2003), conforme figura 3.

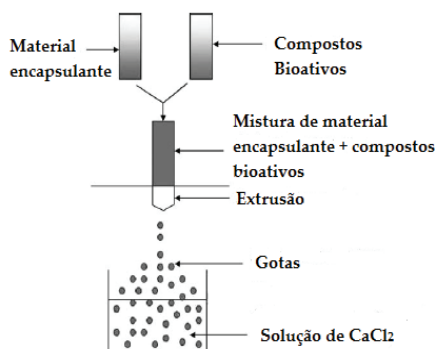


Figura 3 – Esquema do método de extrusão para compostos bioativos (Adaptado de Anjani et al., 2007)

A produção de micropartículas por esta técnica, que não utiliza solventes orgânicos, a torna crescente e promissora, especialmente para a encapsulação de fármacos, células vivas imobilizadas e para inclusão de compostos de interesse em alimentos (Patil et al., 2010).

A microencapsulação por extrusão está sendo muito utilizada para a microencapsulação de probióticos e óleos voláteis e instáveis em matrizes de polímeros. Um dos inconvenientes desta tecnologia é a formação de grandes partículas que limitam o uso de flavorizantes em aplicações onde o paladar é um fator crucial (Etchepare et al., 2016; Gouin, 2004).

O tamanho das cápsulas formadas depende da viscosidade da mistura, do diâmetro do orifício de gotejamento e da distância entre a sua saída e a solução de endurecimento, podendo variar de 0,5-3 mm (Heidebach et al., 2009).

Devido a isso, variantes do método de extrusão foram desenvolvidas com o objetivo de se obter partículas de diâmetro reduzido. Algumas destas consistem na utilização de um aerógrafo acoplado a um compressor de ar para a microencapsulação do probiótico *Lactobacillus acidophilus*, obtendo-se partículas de alginato em torno de  $55\mu\text{m}$  conforme figura 4 (Etchepare et al., 2016).

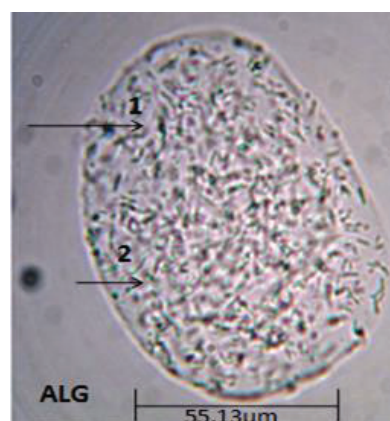


Figura 4 – Microcápsula probiótica de alginato obtida utilizando um aerógrafo acoplado a um compressor de ar, onde o número 1 demonstra o interior da partícula de alginato, e o número 2 evidencia o microrganismo

O material encapsulado é totalmente coberto e protegido pelo material encapsulante e o material residual ( $\text{CaCl}_2$  geralmente) deve ser removido, pois a presença de material residual nas cápsulas pode conferir ao alimento

propriedades sensoriais indesejáveis (Gibbs et al., 1999; Desai e Park, 2005).

#### **4 Compostos Bioativos microencapsulados pela técnica de extrusão**

Wang et al. (2013), investigaram a viabilidade de encapsular óleo de canola enriquecido com quercetina, usando alginato em diferentes concentrações e pectina como materiais de revestimento. Ambas as formulações de alginato e pectina mostraram bons resultados para preservar o óleo de canola, demonstrando uma boa opção para encapsular esse tipo de substância. Os autores concluíram que o óleo de canola microencapsulado pode ser consumido diretamente ou utilizado como ingrediente bioativo em alimentos funcionais.

Lévic et al. (2015) investigaram a encapsulação de um composto aromatizante, o óleo essencial D-limoneno. Os resultados deste estudo mostraram que as partículas de alginato veiculando este composto são apropriados para a incorporação de D-limoneno mantendo a sua estabilidade térmica em determinadas condições.

Li et al. (2010) testaram a eficácia do sistema de encapsulação na prevenção da interação entre fumarato ferroso e iodo na preservação do iodo no sal iodado. Este estudo demonstrou que a microencapsulação do fumarato ferroso quando incorporado no sal iodado produziu um sal fortificado, estável durante um período prolongado à temperatura elevada e umidade, concluindo ser uma maneira de prevenir distúrbios por deficiência de iodo e anemia ferropriva.

Chew et al. (2015) encapsularam óleo de semente de kenaf utilizando pectina e alginato com revestimento de quitosana, e avaliaram as mudanças nas atividades antioxidantes e bioativas antes e após digestão *in vitro*, comparando com o óleo sem microencapsular. Os autores concluíram que a microencapsulação do óleo de semente de Kenaf ofereceu um sistema de liberação controlado e eficaz quando comparado ao óleo sem encapsular.

No estudo de Belščak-Cvitanović et al. (2011) a técnica de extrusão foi aplicada para imobilizar extratos polifenólicos de seis ervas medicinais diferentes em partículas de alginato e quitosana.

A fim de aumentar a solubilidade da quitosana, ácido ascórbico foi utilizado, adicionalmente, o que aumentou o potencial antioxidante dos extratos polifenólicos encapsulados à base de plantas.

Lee et al. (2009) encapsularam CLA em partículas de ágar e amido de milho e concluíram um efeito positivo na eficácia da encapsulação, resultando numa melhor estabilidade do óleo em relação a oxidação.

A imobilização de enzimas numa matriz de alginato, seguida por gelificação em solução de quitosana contendo solução catiónica, é uma maneira de manter a liberação controlada de enzimas, melhorando assim, a maturação de queijos (Anjani et al., 2007).

A furcelana foi utilizada na encapsulação do suco de espinheiro-marítimo (*Hippophae rhamnoides L.*), rico em  $\beta$ -caroteno. O tamanho das cápsulas foi avaliado com o auxílio de um micrômetro e analisou-se que as cápsulas de maior diâmetro (4,49 e 4,65 mm) foram as que apresentaram maior concentração de furcelana. A eficiência de encapsulação encontrada neste estudo foi de 97% (Laos et al., 2007).

O método de microencapsulação por extrusão apresenta características simples e reprodutíveis, sendo um método rápido de se obter micropartículas na ausência de condições drásticas, minimizando assim as perdas de atividade biológica do composto a ser encapsulado. Além de se utilizar hidrogéis poliméricos naturais, a técnica não requer a utilização de solventes orgânicos, temperaturas elevadas ou condições extremas de pH, tornando o método ideal e promissor para a encapsulação de compostos bioativos (Chew et al., 2015; Wang et al., 2013; Li et al., 2010).

#### **5 Conclusões**

A encapsulação de compostos bioativos pela técnica de extrusão é promissora, pois permite sua incorporação em alimentos com diferentes características sem que haja modificação da textura e características sensoriais dos produtos. Assim, a microencapsulação de compostos bioativos por esta técnica deve ser explorada mais intensamente, para que os benefícios funcionais permaneçam durante o processamento e sua biodisponibilidade aumente em ambiente gastrointestinal.

## 5 Referências

- Abrahão, S. A. et al. (2010). Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 34(2) 414-420.
- Anjani, K. K., Kailasapathy, K., Phillips, M. (2007). Microencapsulation of enzymes for potential application in acceleration of cheese ripening. *International Dairy Journal*, 17, 79–86.
- Bagetti, M. Caracterização físico-química e capacidade antioxidante de pitanga (*Eugenia uniflora* L.). 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- Bakowska-barczak, A. M.; Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34, 1301-1309.
- Bastos, D.M. et al. (2009). Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade. *Arq Bras Endocrinol Metab*, 53/5.
- Blanch, G. P. Castillo, M. L. R. Del, Caja, M. Del M., Pérez-méndez, M.; Sánchez-Cortés, S. (2007). Stabilization of all-trans-lycopene from tomato by encapsulation using cyclodextrins. *Food Chemistry*, 105, 1335-1341.
- Belščak-Cvitanović, A. (2011). Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate–chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. *Food Research International*, 44, 1094–1101.
- Chew, S., C. (2015). In-vitro evaluation of kenaf seed oil in chitosan coated-high methoxylpectin-alginate microcapsules. *Industrial Crops and Products*, 76, 230–236.
- Cozzolino, S.M.F. (org.). Biodisponibilidade de nutrientes. 3 ed. São Paulo: Manole, 2009.
- Deladino, L.; Anbinder, P. S.; Navarro, A. S.; Martino, M. N. (2008). Encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis*. *Carbohydrate Polymers*, 71,126-134.
- Depypere, F. (2003). Food powder microencapsulation: principles, problems and opportunities. *Applied Biotechnology Food Science and Policy*, 1( 2), 75-94.
- Desai, K. G. H.; Park, H. J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying Technology*, 23(7), 1361-1394.
- Diplock, A. T., Aggett, P. J., Ashwell, M., Borneo, F., Fern, E. B., & Roberfroid, M. (1999). Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus document. *The British Journal of Nutrition*, 81, 1–27.
- Etchepare, M. A., Raddatz, C. G., Flores, E. M. M., Zepka, L. Q., Jacob-Lopes, E., Barin, J. S., Grosso, C. R. F., Menezes, C. R. (2016). Effect of resistant starch and chitosan on survival of *Lactobacillus acidophilus* microencapsulated with sodium alginate. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 511-517.
- Gibbs, S. Encapsulation in the food industry: a review. (1999). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50(3), 213-224.
- Gouin, S. (2004). Micro-encapsulation: Industrial Appraisal of Existing Technologies and Trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 330-347.

- Heidebach, T. (2009). Microencapsulation of probiotics cells by means of rennet- gelation of milk proteins. *Food hidrocolloids*, 23, 1670-1677.
- Jackson, L. S.; Lee, K. (1991). Microencapsulation and Food Industry. *LWT – Food Science and Technology*, 24( 4), 289-297.
- King, A. H. (1995). Evaluation of the mechanism associated with the release of encapsulated flavor materials. *Encapsulation and controlled release of food ingredients*, 1-160.
- Krasaekoopt, W.; Bhandari, B.; Deeth, H. (2003). Review: Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International Dairy Journal*, 13, 3-13.
- Lambert, J. M.; Weinbreck, F.; Kleerebezem, M. (2008). In vitro analysis of protection of the enzyme bile salt hydrolase against enteric conditions by whey protein – gum Arabic microencapsulation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 8360- 8364.
- Laos, K.; Lõugas, T.; Mändmets, A.; Vokk, R. (2007). Encapsulation of  $\beta$ - carotene from sea buckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) juice in furcellaran beads. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 395- 398.
- Lee, J., S. (2009). Optimization and oxidative stability of the microencapsulated conjugated linoleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45, 348–351.
- Levi, S. (2015). Characterization of sodium alginate/D-limonene emulsions and respective calcium alginate/D-limonene beads produced By electrostatic extrusion. *Food Hydrocolloids*, 45, 111-123.
- Mortazavian, A. M.; Sohrabvandi, S. (2007). Probiotics and Food Probiotic Products: based on Dairy Probiotic Products (Ed. A.M. MORTAZAVIAN). Eta Publication, Iran.
- Nori, M. P.; Favaro-trindade, C. S.; Alencar, S. M. de; Thomazini, M.; Balieiro, J. C. de C.; Castillo, C. J. C. (2011). Microencapsulation of propolis extract by complex coacervation. *LWT - Food Science and Technology*, v.44, p.429-435.
- Patil, J. S.; Kamalapur, M. V.; Marapur, S. C.; Kadam, D. V. (2010). Ionotropic gelation and polyelectrolyte complexation: The novel techniques to design hydrogel particulate sustained, modulated drug delivery system: A review. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 5(1), 241-248.
- PINTO, M. S. (2008). Compostos bioativos de cultivares brasileiras de morango (*Fragaria x ananassa* Duch): caracterização e estudo da biodisponibilidade dos derivados de ácido elágico. Programa de pós graduação de Ciência dos alimentos. Universidade de São Paulo.138 p.
- Pszczola, D. (1998). Encapsulated ingredients: providing the right fit. *Food Technology*, 52(12), 70-77.
- Ré, M. (1998). Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*, 16(6) 195-236.
- Reineccius, G. A. (1991). Carbohydrates for flavor encapsulation. *Food Technology*, 51(3)144-146, 149.
- Romo-Hualde, A., Yetano-Cunchillos, A. I., González-Ferrero, C., Sáiz-Abajo, M. J., C. J. González-Navarro. (2012). Supercritical fluid extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red pepper (*Capsicum annum* L.) by-products. *Food Chemistry*, 133, 1045-1049.
- Sansone, F., Picerno, P., Mencherini, T., Villecco, F., D’ursi, A. M., Aquino, R. P. Lauro, M. R. (2011a). Flavonoid microparticles by spray-



drying: Influence of enhancers of the dissolution rate on properties and stability. *Journal of Food Engineering*, 103(2), 188-196.

Sansone, F., Mencherini, T., Picerno, P., D'amore, M., Aquino, R. P. Lauro, M. R. (2011b). Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. *Journal of Food Engineering*, 105, 468-476.

Sousa, S., Gomes, A. M., Pintado, M. H., Silva, J. P., Costa, P., Amaral, M. H., Duarte, A. C., Rodrigues, D., Rocha-Santos, T. A. P., Freitas, A. C. (2015). Characterization of freezing effect upon stability of probiotic loaded, calcium-alginate microparticles. *Food and Bioprocess Processing*, 93, 90-97.

Suave, J.; Dall'agnol, E. C.; Pezzin, A. P. T.; Silva, D. A. K.; Meier, M. M.; Soldi, V. (2006). Microencapsulação: Inovação em diferentes áreas. *Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal*, 7(2), p. 12-20.

Shahidi, F.; Han, X. Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 501-547.

Van Den Berg, L. (2008). Physical Properties Giving the Sensory Perception of Whey Proteins/Polysaccharide Gels. *Food Biophysics*, 3(2), 198-206.

Wang, W. (2013). Co-extrusion encapsulation of canola oil with alginate: Effect of quercetin addition to oil core and pectin addition to alginate shell on oil stability. *Food Research International*, 54, 837-851.

Wisuitiprot, W. et al. (2011). In vitro human skin permeation and cutaneous metabolism of catechins for green tea extract and green tea extract-loaded chitosan microparticles. *International Journal of cosmetic science*, 33(6), 572-579.

Yao O. Li, Y., O. (2010). Iodine stability in iodized salt dual fortified with microencapsulated ferrous fumarate made by an extrusion-based encapsulation process. *Journal of Food Engineering*, 99, 232-238.