

**Revisão:**

**Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos**

Review:

*Characteristics of nanoparticles and their potential applications in foods*

**Autores | Authors**

✉ **Letícia Marques de ASSIS**

Universidade Federal do Rio Grande  
(FURG)  
Escola de Química e Alimentos (EQA)  
Caixa Postal: 474  
CEP: 96201-900  
Rio Grande/RS - Brasil  
e-mail: leticiamassis@gmail.com

**Elessandra da Rosa ZAVAREZE**  
**Carlos PRENTICE-HERNÁNDEZ**  
**Leonor Almeida de**  
**SOUZA-SOARES**

Universidade Federal do Rio Grande  
(FURG)  
Escola de Química e Alimentos (EQA)  
Rio Grande/RS - Brasil  
e-mail: elessandrad@yahoo.com.br  
dqmprent@furg.br  
leonor.souzasoares@gmail.com

✉ Autor Correspondente | Corresponding Author

Recebido | Received: 15/02/2011  
Aprovado | Approved: 03/02/2012  
Publicado | Published: jun./2012

**Resumo**

O objetivo desta revisão é abordar as aplicações de nanotecnologia em alimentos, enfatizando o uso de nanopartículas lipídicas sólidas, nanoemulsões, nanocápsulas e de nanocompósitos para embalagens de alimentos, bem como os métodos de obtenção, a funcionalidade e as suas características. A aplicação da nanotecnologia em alimentos é nova em comparação com a área biomédica e as indústrias de tecnologia de informação, nas quais a nanotecnologia já é utilizada na fabricação de materiais. No entanto, já existem inúmeras oportunidades que podem ser exploradas, como a elaboração de produtos com características funcionais e nutracêuticas, o desenvolvimento de processos e as embalagens inteligentes. Esta revisão aborda os seguintes itens: nanopartículas lipídicas sólidas, nanoemulsões, nanocápsulas, nanocompósitos em embalagem e os riscos e a legislação para a nanotecnologia. Nanopartículas lipídicas sólidas são sistemas de transporte coloidal empregados para encapsular, proteger e entregar componentes funcionais. Nanoemulsão consiste em uma dispersão muito fina composta por uma fase de óleo e uma fase aquosa, com tamanho de gota, em escala nanométrica; em função do seu tamanho característico, as nanoemulsões são transparentes ou translúcidas, e possuem estabilidade contra a sedimentação. Nanocápsulas são compostas por um invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo, no qual se encontra o composto ativo, conferindo proteção contra o oxigênio, a água e/ou a luz; permitem, dessa forma, uma liberação controlada da substância e/ou previnem o contato com outros componentes em uma mistura. Em nanotecnologia de embalagens, aborda-se a utilização de nanopartículas, tais como nanofibras de celulose e nanoargila, bem como a aplicação de nanomateriais com propriedades nutricionais e/ou antimicrobianas, e nanosensores. Serão abordados também aspectos relacionados aos riscos e à legislação em nanotecnologia de alimentos.

**Palavras-chave:** *Nanopartículas; Nanoemulsão; Nanoencapsulação; Nanocompósitos.*

## ■ Summary

The objective of this review was to study the applications of nanotechnology in foods, emphasizing the use of solid lipid nanoparticles, nanoemulsions, nanocapsules and nanocomposites for food packaging and also review the production methods, functionality and characteristics. Nanotechnology in foods is new as compared to the biomedical area and information technology industries, where nanotechnology has been used in the manufacture of materials. However, there are many opportunities that can be explored, such as the development of products with functional and nutraceutical characteristics, process development and intelligent packaging. In this review, solid lipid nanoparticles, nanoemulsions, nanocapsules and nanocomposites for use in packaging, will be examined, as also the risks and legislation regarding nanotechnology. Solid lipid nanoparticles are colloidal transport systems developed to encapsulate, protect and deliver functional components. Nanoemulsions are a very fine dispersion consisting of an oil phase and an aqueous phase with a droplet size on a nanometric scale. Due to their characteristic size, these emulsions are transparent or translucent and present stability against sedimentation. Nanocapsules are composed of an active central core surrounded by a thin polymeric wall, providing protection of the active compound against oxygen, water and/or light, allowing for a controlled release of the substance and/or preventing contact with other components in a mixture. The use of nanoparticles such as cellulose nanofibres and nanoclays in packaging nanotechnology will be discussed; and also the application of nanomaterials with nutritional and/or antimicrobial properties; and the application of nanosensors. Issues related to the legislation and risks of food nanotechnology will also be discussed.

**Key words:** *Nanoparticles; Nanoemulsions; Nanoencapsulation; Nanocomposites.*

## Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos

ASSIS, L.M. et al.

### 1 Introdução

A nanotecnologia é focada em caracterização, fabricação, manipulação e aplicação de estruturas biológicas e não biológicas (SAHOO et al., 2007) na escala nanométrica. O prefixo “nano” está relacionado a uma escala de medida em que um nanômetro representa um bilionésimo do metro ou um milionésimo do milímetro. Estruturas nessa escala apresentam propriedades funcionais únicas não encontradas na escala macro (CHAU et al., 2007). Os nanocompósitos são materiais híbridos, nos quais pelo menos um de seus componentes tem dimensões nanométricas. A principal razão para as diferenças no comportamento entre materiais compostos e nanocompósitos está relacionada com a elevada área superficial destes últimos, resultando em intensa interação entre a matriz na qual estão inseridos e as nanopartículas.

As maiores áreas da indústria de alimentos beneficiadas com a nanotecnologia são desenvolvimento de novos materiais funcionais, processamento em micro e nanoescala, desenvolvimento de novos produtos e nanossensores para a segurança alimentar (MORARU et al., 2003). Várias aplicações da nanotecnologia tornaram-se aparentes, incluindo o uso de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS), nanoemulsões, nanocápsulas e o uso de nanocompósitos para a embalagem dos alimentos. Nanopartículas lipídicas sólidas são sistemas de transporte coloidal, podendo ser produzidas por: homogeneização sob alta pressão a quente ou a frio; diluição de microemulsão; preparo de emulsão múltipla; emulsificação/evaporação de solvente, ou difusão de solvente (JEE et al., 2006). Nanoemulsões são consideradas verdadeiras emulsões, com uma fase dispersa e outra contínua, geralmente entre 50 e 1000nm de diâmetro; são transparentes ou translúcidas e possuem estabilidade contra a sedimentação (SANGUANSRI e AUGUSTIN, 2006; GUTIÉRREZ et al., 2008). Nanocápsulas são compostas por um invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo no qual se encontra o composto ativo, que será protegido contra fatores ambientais adversos, ou será gradativamente liberado (CHARCOSSET, 2009). O uso de nanocompósitos para a embalagem dos alimentos, protege, aumenta a sua vida útil e é considerado uma alternativa ambientalmente correta, pois reduz a exigência de utilização de plásticos, como materiais de embalagem (WEISS et al., 2006; SORRENTINO et al., 2007; SOZER e KOKINI, 2009).

A aplicação da nanotecnologia em alimentos é nova em comparação com a área biomédica e as indústrias de tecnologia de informação, nas quais a nanotecnologia já é utilizada na fabricação de materiais. No entanto, já existem inúmeras oportunidades que podem ser exploradas, como a elaboração de produtos com características funcionais e nutracêuticas, o desenvolvimento de processos e as embalagens

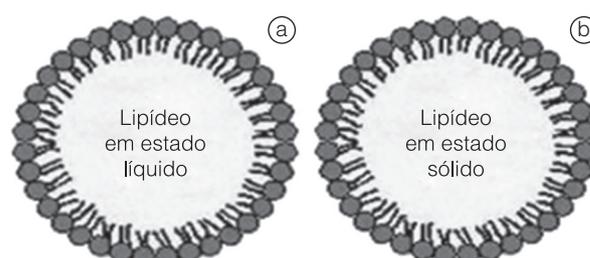
inteligentes. Sendo assim, o objetivo desta revisão é abordar as aplicações de nanotecnologia em alimentos, enfatizando o uso de nanopartículas lipídicas sólidas, nanoemulsões e nanocápsulas, e de nanocompósitos para a embalagem dos alimentos, além de abordar os riscos e a legislação de nanotecnologia em alimentos.

### 2 Aplicações de nanotecnologia em alimentos

#### 2.1 Nanopartículas Lipídicas Sólidas (NLS)

Nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) são sistemas coloidais transportadores que foram desenvolvidos para encapsular, proteger e distribuir componentes lipofílicos funcionais, tais como lipídios bioativos e drogas. A fase líquida lipídica e uma solução de surfactante aquoso são homogeneizados em uma temperatura acima da temperatura de fusão dos lipídios, para produzir uma fina dispersão de uma emulsão de óleo em água (HELGASON et al., 2009). A partícula é estabilizada por surfactantes, que podem ser compostos de uma única camada, mas normalmente há uma mistura de surfactantes (WEISS et al., 2008). Nanopartículas lipídicas têm uma estrutura semelhante à nanoemulsões, com um tamanho que varia normalmente de 50 a 1000 nm. O núcleo lipídico em nanoemulsões é líquido, mas, em nanopartículas, o núcleo lipídico está no estado sólido (Figura 1) (FARHANG, 2007).

O uso de lipídios sólidos, em vez de lipídios líquidos, aumenta o controle sobre a cinética de liberação de compostos encapsulados e melhora a estabilidade de ingredientes lipofílicos sensíveis quimicamente (HELGASON et al., 2009). As nanopartículas lipídicas são usadas como uma transportadora e os ingredientes ativos são finamente dispersos na matriz lipídica. Os lipídios mais utilizados na obtenção das NLS são triglicerídeos (triestearina), glicídios parciais (monoestearato de gliceril), ácidos graxos (ácido esteárico), esteróis (colesterol) e ceras (cetilpalmitato) (MEHNERT e MÄDER, 2001). Na indústria de alimentos, tornou-se evidente a dificuldade associada à inclusão de bioativos lipofílicos em matrizes de alimentos, sendo um dos principais



**Figura 1.** Esquema representativo de nanoemulsão (a) e nanopartícula lipídica sólida (b). Fonte: Müller et al. (2000).

## Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos

ASSIS, L.M. et al.

problemas para os fabricantes o desenvolvimento de alimentos direcionados para a saúde e o bem-estar (WEISS et al., 2008). Dentre os nutracêuticos que foram incorporados em nanopartículas lipídicas, incluem-se licopeno,  $\beta$ -caroteno, luteína, fitoesteróis e DHA/EPA (FARHANG, 2007; WEISS et al., 2008). Triplett e Rathamn (2009) incorporaram  $\beta$ -caroteno em nanopartículas de ácido esteárico, utilizando ultra-agitação na velocidade de 30.000 rpm/2 min. Nesse experimento, foi conseguida uma eficiência de encapsulação de 40% e o  $\beta$ -caroteno permaneceu na partícula por um período de um mês.

As NLS podem ser produzidas por diferentes técnicas, entre as quais a homogeneização sob alta pressão a quente ou a frio, a diluição de microemulsão, o preparo de emulsão múltipla, a emulsificação/evaporação de solvente, ou a difusão de solvente (LIPPACHER et al., 2001; MEHNERT e MÄDER, 2001).

A homogeneização sob alta pressão – em suas modalidades “a frio” ou “a quente” – é um dos processos mais interessantes para a obtenção de nanopartículas, pois já é empregada há algum tempo na indústria para o preparo de emulsões. Na homogeneização a quente, o lipídeo encontra-se fundido em todas as etapas de produção, o que permite maior migração do material ativo do núcleo para a fase aquosa. Por outro lado, na homogeneização a frio, o material ativo do núcleo é incorporado no lipídeo fundido, mas a mistura é rapidamente solidificada em nitrogênio líquido e triturada para obtenção de micropartículas lipídicas; somente, então, é misturada a uma solução aquosa de tensoativos, sob cisalhamento. A pré-suspensão obtida é, em seguida, submetida à homogeneização sob alta pressão, na qual ocorre a formação das NLS. A temperatura das etapas de cisalhamento e homogeneização deve ser controlada para evitar a fusão do lipídeo e, por conseguinte, a perda do material ativo do núcleo para a fase aquosa (MEHNERT e MÄDER, 2001; WISSING et al., 2004; MÜLLER et al., 2000). A vantagem dessa técnica é que não se utilizam solventes orgânicos, o que a torna especialmente atraente para a indústria de alimentos, além do fato de o principal equipamento que se requer – homogeneizador de alta pressão – ser de uso corrente nesse tipo de indústria (SOUTO e MÜLLER, 2006).

Seetapan et al. (2010) incorporaram gama orizanol em nanopartículas lipídicas sólidas, utilizando as concentrações lipídicas de 5 e 10%, por meio do uso de homogeneização a quente (ultraturrax a 6.500 rpm), e obtiveram tamanho médio das partículas de 397 e 464 nm, para as respectivas concentrações.

### 2.2 Nanoemulsão

Nanoemulsão consiste em uma dispersão muito fina, composta por uma fase de óleo (tal como triglicerídeos ou hidrocarbonetos) e uma fase aquosa (água ou água

com algum eletrólito ou poliol), que se apresenta como gotas com diâmetro menor que 100 nm (SONNEVILLE-AUBRUN et al., 2004). Emulsões com tamanho de gota em escala nanométrica são frequentemente referidas na literatura como miniemulsões (EL-AASSER e SUDOL, 2004), nanoemulsões (SONNEVILLE-AUBRUN et al., 2004) e emulsões ultrafinas. O termo nanoemulsão é preferível porque, além de dar uma ideia da escala de tamanho nanométrica das gotículas, evita erros de interpretação com a microemulsão. Nanoemulsões tipo óleo em água têm sido investigadas há muito tempo e foram estudadas minuciosamente (ANTONIETTI e LANDFESTER, 2002; TADROS et al., 2004; EL-AASSER e SUDOL, 2004). No entanto, existem poucos estudos relacionados com nanoemulsões tipo água em óleo (CHIESA et al., 2008).

As nanoemulsões não podem ser formadas espontaneamente, sendo necessária energia, geralmente a partir de dispositivos mecânicos ou a partir do potencial químico dos componentes. Os métodos utilizados para formação de nanoemulsão compreendem a utilização de homogeneizadores de alta pressão e geradores de ultrassom (KENTISH et al., 2008). Os homogeneizadores de alta pressão são muito utilizados para formar nanoemulsões e geralmente trabalham com pressões entre 50 e 100 MPa. O procedimento do uso de ultrassom para a preparação de nanoemulsões geralmente consiste em primeiramente conduzir o fluido através de um orifício de diâmetro reduzido com pressão moderada e orientado em direção a uma lâmina vibratória, na qual sofre impacto. Quando o sistema atinge uma fase estacionária, entra em cavitação, próximo da extremidade da lâmina, e a vibração desta produz ondas ultrassônicas que são capazes de exercer um efeito cortante, produzindo gotículas de tamanho reduzido (BOLDYREV, 1995). A emulsificação através de ultrassom também é muito eficiente na redução do tamanho das gotas, mas só é adequada para pequenos lotes. Os estudos realizados por Landfester et al. (2004) sobre a preparação de nanoemulsões polimerizáveis mostram que a eficiência do processo de dispersão é fortemente dependente do tempo de ultrassom em diferentes amplitudes; note-se que quanto mais hidrofóbico o monômero, maior o tempo de sonicação necessário.

### 2.3 Nanoencapsulação

Nanoencapsulação envolve incorporação, absorção ou dispersão de combinações de bioativos sólidos, líquidos ou gasosos dentro ou em vesículas pequenas, com diâmetro na escala nanométrica. As combinações de bioativos incorporados podem ser protegidas contra degradação e melhorar a estabilidade e a solubilidade (por exemplo, solubilização de componentes hidrofílicos em matrizes hidrofóbicas e vice-versa) (KLAYPRADIT e HUANG, 2008; JAFARI et al., 2008). As nanocápsulas

## Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos

ASSIS, L.M. et al.

são constituídas por um invólucro polimérico disposto ao redor de um núcleo, podendo o componente ativo de interesse estar dissolvido nesse núcleo e/ou adsorvido à parede polimérica. A retenção desses núcleos é regida por sua funcionalidade química, solubilidade, polaridade e volatilidade (GHARSALLAOUI et al., 2007). O material de parede consiste na barreira externa e geralmente é feito de compostos que formam uma rede com a estrutura. Esses compostos são normalmente polímeros (amidos, gomas, gelatinas).

O principal objetivo da encapsulação é proteger uma substância sensível na cápsula ou na parede, isolando fisicamente o ingrediente do meio ambiente. Atualmente, os interesses essenciais são atribuídos ao encapsulamento de *flavors*, lipídeos e carotenoides, entre outros ingredientes; ressalta-se que, em função de um único agente encapsulante não possuir todas as propriedades do material de parede ideal, pesquisas recentes têm focado em misturas de carboidratos, gomas e proteínas (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Os lipídios estão entre os compostos com interesse de encapsulação. Matsuno e Adachi (1993) enumeraram cinco vantagens do uso de lipídio como material de encapsulamento: retardar a auto-oxidação; melhorar a estabilidade; controlar a liberação de sabor de substâncias lipossolúveis; mascarar o gosto amargo de substâncias lipossolúveis, e proteger as substâncias dissolvidas contra a hidrólise enzimática. Lipídios, especialmente aqueles que contêm alto teor de ácidos graxos insaturados, têm sido encapsulados visando diminuir a susceptibilidade à oxidação (FAVARO-TRINDADE et al., 2008).

Uma variedade de técnicas de encapsulação é usada para alimentos, incluindo o *spray-drying*, a coacervação complexa e os lipossomas. Embora frequentemente considerado como um processo de desidratação, o *spray-drying* pode também ser usado como um método de encapsulação, quando se aprisionam materiais ativos dentro de uma matriz de proteção, que é essencialmente inerte para o material a ser encapsulado (TEWA-TAGNE et al., 2007). Trata-se de um método econômico e flexível, oferece variação na matriz de encapsulamento, é adaptável aos equipamentos comumente utilizados, e produz partículas de boa qualidade. Shahidi e Han (1993) sugerem que a encapsulação por *spray-drying* envolve quatro estágios: preparação da dispersão ou da emulsão; homogeneização da dispersão; atomização da emulsão, e desidratação das partículas atomizadas. O primeiro estágio consiste na formação de uma emulsão fina e estável do material do núcleo, dentro da solução de parede. A mistura a ser atomizada é preparada por dispersão do material o núcleo que, neste caso, é normalmente de natureza hidrofóbica, numa solução do agente de revestimento com o qual

é imiscível (GHARSALLAOUI et al., 2007). Às vezes, a adição de um emulsificante é necessária e a dispersão é então homogeneizada antes do *spray-drying*.

A atomização do líquido em pequenas gotículas pode ser realizada por pressão ou energia centrífuga, cujo objetivo é criar um máximo de transferência de calor entre o ar seco e o líquido para otimizar a transferência de calor e massa (GHARSALLAOUI et al., 2007). O *spray-drying* é um método adequado para a encapsulação de óleos (JAFARI et al., 2008). Klaypradit e Huang (2008) demonstraram que o uso de atomizador ultrassônico mostrou-se promissor para a encapsulação de óleo de atum, utilizando-se maltodextrina ou isolado proteico do soro na proporção de 1:10 e 1:1, respectivamente, para se obter uma emulsão estável juntamente com a quitosana.

A coacervação é uma interação baseada na complexação que ocorre da mistura de soluções de substâncias com cargas opostas, formando complexos, que, por repulsão do solvente, precipitam, formando duas fases: uma delas, chamada "rica em polímeros", contendo o coacervado precipitado, e outra chamada "pobre em polímeros", na qual permanece o solvente da solução (STRAUSS e GIBSON, 2004). A coacervação pode ser de dois tipos: simples, em que a separação da fase líquida ocorre pela adição de um eletrólito à solução coloidal, ou complexa, que resulta da neutralização mútua de dois colóides carregados com cargas opostas em solução aquosa. A coacervação simples envolve um único polímero e ocorre pela remoção do solvente que envolve as moléculas do coloide, por meio do uso de outro composto que compete com o polímero pela água, como sais ou álcoois. Com a saída do solvente, as moléculas do polieletrólito se aproximam e formam aglomerados (VASILIU et al., 2005). A coacervação complexa é usada principalmente para encapsulação de substâncias hidrofóbicas e é baseada na interação entre diferentes polímeros com cargas opostas. Tal interação forma complexos insolúveis e produz separação de fases. A deposição de tais complexos em torno de um núcleo hidrofóbico cria uma barreira, permitindo assim seu encapsulamento (TOLSTOGUSOV, 1991; SCHMITT et al., 1998). Biopolímeros que se encaixam para coacervação têm propriedades hidrofílicas coloidal; solubilidade em meio aquoso; densidade de carga adequada, e cadeias lineares (VANDERGAER, 1974). A coacervação complexa apresenta algumas vantagens frente a outras técnicas, como a possibilidade de se trabalhar com biopolímeros, a ausência de solvente orgânico e as condições brandas de temperatura no processamento.

Uma das principais desvantagens da técnica de encapsulação por coacervação é o fato de que deve ser mantido um controle crítico das concentrações dos materiais poliméricos. Ou seja: a coacervação ocorrerá somente dentro de uma limitada faixa de pH,

## Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos

ASSIS, L.M. et al.

de concentração de coloide e/ou concentração de eletrólito. A coacervação pode ser controlada de modo a produzir vários diâmetros de microcápsulas e/ou espessuras de revestimento diferentes. O diâmetro da cápsula é dependente do tamanho das partículas que serão encapsuladas. No caso de líquidos, o tamanho das gotas determina o tamanho das cápsulas. Existem alguns fatores que influenciam o tamanho das microcápsulas, como: velocidade de agitação; teor de sólidos da fase orgânica; viscosidade da fase aquosa; viscosidade da fase orgânica; concentração e tipo de tensoativo; configuração do vaso e do agitador; quantidade de orgânicos e fase aquosa, e perfil de temperatura durante a produção (BACHTSI e KIPARISSIDES, 1996).

Outro método de encapsulação é o uso de lipossomas, que consistem em vesículas únicas ou em multicamadas que envolvem uma fase aquosa dentro de uma membrana de fosfolípidios. Essas vesículas se formam espontaneamente quando fosfolípidios são dispersos em um meio aquoso. Uma porção do meio aquoso torna-se fechada na membrana lipídica que serve, então, como uma partícula de liberação controlada para o material ativo disperso na fase aquosa ou lipídica da partícula (MALHEIROS et al., 2010). Lipossomas são, portanto, capazes de transportar materiais ativos lipofílicos e aquosos. A solubilização dos lipossomas pelos sais biliares constitui uma vantagem, quando se deseja a incorporação de moléculas nesse sistema e sua liberação no trato intestinal (RAMALDES et al., 1996). Além disso, a grande variação do pH, ao longo do trato gastrointestinal, induz várias modificações físicas e químicas na estrutura das vesículas, alterando a permeabilidade das membranas e, assim, contribuindo para a liberação do material encapsulado (NACKA et al., 2001). Os únicos materiais que não podem ser incluídos no lipossoma são substâncias que são insolúveis em lipídios ou em fases aquosas, ou ainda aqueles que têm solubilidade significativa em ambas as fases. Na indústria de alimentos, os lipossomas foram investigados para a encapsulação de proteínas, enzimas, vitaminas, antioxidantes e *flavors* (MOZAFARI et al., 2008; TAYLOR et al. 2005), e de antimicrobianos (MALHEIROS et al., 2010).

O revestimento não só protege o material do núcleo da umidade, da luz, do oxigênio, de outros ingredientes alimentares e de agentes externos adicionais, mas também permite/auxilia no controle da liberação das substâncias ativas. Os mecanismos de liberação dos materiais ativos encapsulados variam de acordo com a natureza do agente encapsulante, sendo que normalmente ocorrem por: variação de temperatura e de pH; solubilidade do meio; biodegradação; difusão; ruptura mecânica; permeabilidade seletiva, e gradiente de concentração existente em relação ao meio de liberação (BRANNON-PEPPAS, 1993). Hsieh et al. (2006) concluíram que,

controlando as concentrações de quitosana e hidróxido de sódio, como materiais de revestimento, o tamanho das partículas das microcápsulas, a temperatura e o tempo de pré-tratamento, pode-se controlar a taxa de liberação do óleo de citronela.

Siegrist et al. (2007) produziram nanocápsulas contendo óleo de peixe (como fonte de ácidos graxos ômega-3) para adicionar ao pão, sendo estas projetadas para o seu material ativo ser liberado somente quando alcançar o estômago e, com isso, evitar o gosto desagradável do peixe no pão e contribuir nutricionalmente para a alimentação. Os mesmos autores também produziram nanocápsulas de  $\beta$ -caroteno, utilizando amido como material de parede, para adicionar em suco, e afirmaram que as vantagens seriam: melhor solubilidade do  $\beta$ -caroteno em água; prolongar a vida de prateleira de sucos adicionados com esse tipo de vitamina, e a melhor absorção corpórea. Basu e Del Vecchio (2001) afirmam que a encapsulação de óleo de colza, rico em carotenoides e vitamina E, usando ciclodextrinas como material de parede, aumenta a bioviabilidade dos antioxidantes para a forma solúvel em água, além de conferir proteção contra calor, iluminação e oxidação.

### 2.4 Embalagens

O uso de embalagens e revestimentos adequados para a indústria de alimentos se tornou um tema de grande interesse, em razão da sua potencialidade para aumentar a vida útil de muitos produtos alimentícios, melhorar a qualidade dos alimentos ou reduzir os resíduos de embalagens. Nesse sentido, há um incentivo à exploração de novos biomateriais de embalagem, a partir de recursos renováveis (THARANATHAN, 2003). O uso desses materiais, em função da sua natureza biodegradável, poderia, em pelo menos até certo ponto, resolver o problema dos resíduos. Infelizmente, até agora o uso de embalagens biodegradáveis para embalagens de alimentos tem sido fortemente limitado por causa de problemas relacionados ao desempenho, como fragilidade e fraca barreira a gás e umidade; ao processamento, como baixa temperatura de deformação, e ao custo. A aplicação de nanocompósitos em embalagens promete abrir novas possibilidades para melhorar não só as propriedades, mas também a eficiência, contribuindo para a preservação de alimentos frescos ao estender sua vida útil, além de reduzir os resíduos de embalagens (SORRENTINO et al., 2007). Em virtude das partículas de tamanho nanométrico obtidas por dispersão, esses nanocompósitos podem apresentar acentuada melhora quando comparados com os polímeros convencionais (microescala) (SORRENTINO et al., 2007), como, por exemplo: os nanocompósitos melhoram as propriedades das embalagens em termos de flexibilidade, durabilidade, estabilidade a temperatura e umidade, e as propriedades

## Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos

ASSIS, L.M. et al.

de barreira a gás; embalagens ativas, às quais são incorporados nanomateriais com propriedades nutricionais e/ou antimicrobianas, e nanosensores, que são empregados em embalagens inteligentes (CHAUDHRY e CASTLE, 2011).

Recentemente, tem aumentado a utilização de nanopartículas como aditivos para melhorar o desempenho e as propriedades de embalagens. Exemplos: têm sido utilizadas nanofibras de celulose (MOHANTY et al., 2003) e nanoargilas (silicatos em camadas) (BAE et al., 2009). A celulose é um polímero natural muito forte, formado por longas células fibrosas. As nanofibras de celulose são materiais de baixo custo e amplamente disponíveis. Além disso, são ambientalmente “amigáveis”, facilmente recicláveis e exigem baixo consumo de energia na fabricação, tornando-se uma classe de nanomateriais atraente para elaboração de nanocompósitos de baixo custo e de alta resistência (PODSIADLO et al., 2005).

A aplicação de nanoargilas em embalagens para alimentos tem sido estudada por diversos autores (RHIM e NG, 2007; BAE et al., 2009), com o desenvolvimento de nanocompósitos com polímeros e silicatos em camadas. Nanocompósitos bem desenvolvidos têm excelentes propriedades térmicas e mecânicas, estabilidade à umidade e resistência à água e ao calor, por causa da presença de camadas de nanoargila não permeáveis, que estão dispersas na matriz polimérica (WEISS et al., 2006; SORRENTINO et al., 2007). Dois tipos de formações são usados para a inserção de nanoargilas: a intercalação e a exfoliação (Figura 2). Intercalação é o estado no qual as camadas de argila em cadeia estão dispersas no polímero, resultando em uma estrutura de multicamadas com alternância entre as camadas inorgânicas e o polímero. Exfoliação é um estado em que as camadas

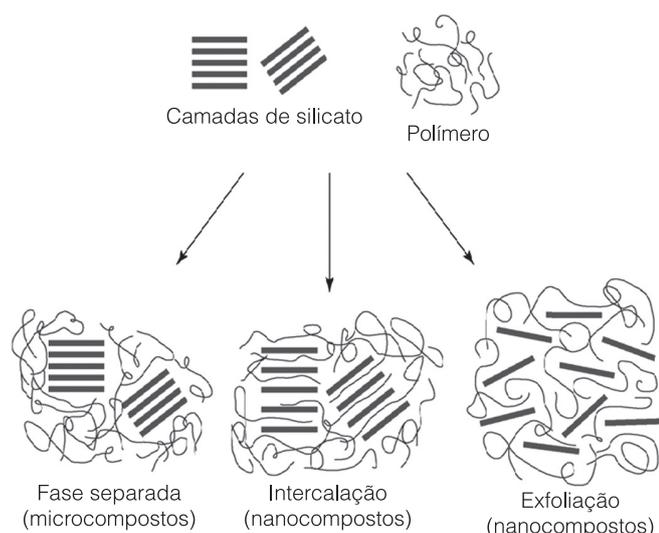
inorgânicas estão completamente separadas e dispersas em uma matriz polimérica contínua. A estrutura e as propriedades resultantes desses nanocompósitos podem ser alteradas por meio do controle da interação polímero-argila (WEISS et al., 2006).

Ray et al. (2003) relataram que materiais contendo argilas nanométricas aumentam a biodegradabilidade dos nanocompósitos. Existem vários trabalhos utilizando polímeros, tais como proteínas, polissacarídeos e lipídios na aplicação de nanocompósitos. Pesquisas sobre a utilização de nanoargilas e proteína de soja (RHIM et al., 2005), proteína de soro de leite (HEDENQVIST et al., 2006), glúten de trigo (OLABARRIETA et al., 2006), gelatina de peixe (BAE et al., 2009), quitosana (CASARIEGO et al., 2009), amido (CHUNG et al., 2010) e óleo de soja (LIU et al., 2005) demonstraram que há uma melhoria nas características das embalagens em comparação às embalagens sem a adição de nanoargilas. Dentre as nanoargilas, a montmorilonita é um dos minerais argilosos mais abundantes e investigados (RHIM e NG, 2007). Park et al. (2003) produziram amido termoplástico com nanoargilas e houve melhoria nas propriedades mecânicas e redução da permeabilidade ao vapor de água pela utilização de 5% (m/m) de nanoargila.

A utilização de nanomateriais em embalagens possibilita o desenvolvimento de embalagens bioativas, pois estes são capazes de manter os compostos bioativos – como prebióticos, probióticos, vitaminas encapsuladas ou flavonoides biodisponíveis – em ótimas condições, até que sejam liberados de forma controlável para o produto alimentício (SOZER e KOKINI, 2009). Materiais de embalagens bioativas ajudam a controlar a oxidação dos alimentos e evitam a formação de sabores estranhos e texturas indesejáveis dos alimentos. Compostos bioativos que são encapsulados na própria embalagem é uma abordagem promissora, porque se permite a liberação de compostos ativos de uma maneira controlável.

O uso de antimicrobianos em embalagens de alimentos está ganhando interesse na indústria e por parte de pesquisadores, por causa de seu potencial para promover a qualidade e a segurança alimentar (CHA e CHINNAN, 2004). A razão de incorporar antimicrobianos em embalagens é prevenir o crescimento superficial de micro-organismos nos alimentos, em que ocorre grande contaminação e, conseqüentemente, desperdícios (LACOSTE et al., 2005). Dessa forma, o uso de alguns nanocompósitos pode reduzir a quantidade incorporada de antimicrobianos normalmente utilizados.

Nanopartículas também podem ser usadas como partículas reativas em materiais de embalagens, tais como os nanosensores, que podem responder às mudanças ambientais (por exemplo, a temperatura ou a umidade nos locais de armazenagem e os níveis de



**Figura 2.** Tipos de compostos que podem ser formados pela inserção de silicato entre as camadas de polímeros. Fonte: adaptado de Sozer e Kokini (2009) e Weiss et al. (2006).

## Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos

ASSIS, L.M. et al.

exposição ao oxigênio), aos produtos de degradação ou à contaminação microbiana (BOUWMEESTER et al., 2009).

### 3 Riscos e legislação de nanopartículas

A segurança de nanoproductos cada vez mais tem chamado a atenção em razão do aumento de seu uso. Apesar da comercialização rápida da nanotecnologia, há poucos regulamentos de nanomateriais específicos, provavelmente por causa da falta de ferramentas legais e científicas, informações e recursos necessários para monitorar o crescimento de mercado exponencial da nanotecnologia (BLASCO e PICÓ, 2011). Cabe salientar que nanomateriais, em função de sua área superficial estar aumentada, poderão causar efeito tóxico dentro do organismo, que não será aparente como nos materiais de tamanho macro (SOZER e KOKINI, 2009). Hoet et al. (2004) concluíram que partículas no tamanho nano entram certamente no corpo humano via pulmões e intestinos, sendo que as chances de penetração dependem do tamanho e das propriedades de superfície das partículas e também do ponto de contato no pulmão ou nos intestinos.

As oportunidades de desenvolvimento da nanotecnologia se tornam todos os dias mais vastas e representam um grande potencial de inovação tecnológica. Não está claro, no entanto, quais são os riscos advindos dos produtos articulados em escala nano ao meio ambiente e aos seres vivos. Não é ainda compreensível se tais partículas, por serem extremamente pequenas, podem adentrar na cadeia alimentar, ou ainda como podem afetar as florestas e a qualidade do ar, por exemplo (SHATKIN, 2008).

### 4 Considerações finais

A nanotecnologia pode ser considerada uma nova tecnologia na área de alimentos e as vantagens e limitações da sua utilização industrial não são completamente compreendidas até o momento. Os grandes desafios consistem em reunir informações sobre as propriedades e os riscos desses nanomateriais, a aplicação em escala industrial e a aceitação por parte dos consumidores. No entanto, todos os esforços serão válidos, pois permitirão o desenvolvimento de produtos de melhor qualidade, mais seguros, com custos reduzidos e mais eficientes.

### Referências

ANTONIETTI, M.; LANDFESTER, K. Polyreactions in miniemulsions. **Journal of Controlled Release**, Oxford, v. 27, n. 4, p. 689-757, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700\(01\)00051-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700(01)00051-X)

BACHTSI, A. R.; KIPARISSIDES, C. Synthesis and release studies of oil containing poly(vinyl alcohol) microcapsules prepared by

coacervation. **Journal of Controlled Release**, Oxford, v. 38, n. 1, p. 49-58, 1996. [http://dx.doi.org/10.1016/0168-3659\(95\)00099-2](http://dx.doi.org/10.1016/0168-3659(95)00099-2)

BAE, H. J.; PARK, H. J.; HONG, S. I.; BYUN, Y. J.; DARBY, D. O.; KIMMEL, R. M.; WHITESIDE, W. S. Effect of clay content, homogenization RPM, pH, and ultrasonication on mechanical and barrier properties of fish gelatin/montmorillonite nanocomposite films. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 42, n. 6, p. 1179-1186, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.016>

BASU, H. N.; DEL VECCHIO, A. Encapsulated carotenoid preparations from high-carotenoid canola oil and cyclodextrins and their stability. **JAACS**, New York, v. 78, n. 4, p. 375-380, 2001. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-001-0271-6>

BLASCO, C.; PICÓ, Y. Determining nanomaterials in food. **Trends in Analytical Chemistry**, Oxford, v. 30, n. 1, p. 84-99, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2010.08.010>

BOLDYREV, V. V. Mechanochemistry and sonochemistry. **Ultrasonics Sonochemistry**, Oxford, v. 2, n. 2, p. 143-145, 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/1350-4177\(95\)00019-3](http://dx.doi.org/10.1016/1350-4177(95)00019-3)

BOUWMEESTER, H.; DEKKERS, S.; NOORDAM, M. Y.; HAGENS, W. I.; BULDER, A. S.; HEER, C.; VOORDE, S. E.; WIJNHOFEN, S. W.; MARVIN, H. J.; SIPS, A. J. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, Oxford, v. 53, n. 1, p. 52-62, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.yrtph.2008.10.008>

BRANNON-PEPPAS, L. Controlled release in the food and cosmetics industries. In: EL-NOKALY, M. A.; PIATT, D. M.; CHARPENTIER, B. A. (Eds.). **Polymeric Delivery Systems: Properties and Applications**. Oxford: Oxford University Press, 1993. chap. 3, p. 42-52.

CASARIEGO, A.; SOUZA, B. W. S.; CERQUEIRA, M. A.; TEIXEIRA, J. A.; CRUZ, L.; DÍAZ, R.; VICENTE, A. A. Chitosan/clay films' properties as affected by biopolymer and clay micro/nanoparticles' concentrations. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 23, n. 7, p. 1895-1902, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.007>

CHA, D. S.; CHINNAN, M. S. Biopolymer-based antimicrobial packaging: review. **Critical Review Food Science Nutrition**, United Kingdom, v. 44, n. 4, p. 223-37, 2004. <http://dx.doi.org/10.1080/10408690490464276>

CHARCOSSET, C. Preparation of emulsions and particles by membrane emulsification for the food processing industry. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 92, n. 3, p. 241-249, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.11.017>

CHAU, C-F.; WU, S-H.; YEN, G-C. The development of regulations for food nanotechnology. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 18, n. 5, p. 269-280, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.007>

CHAUDRY, Q.; CASTLE, L. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam,

**Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos**ASSIS, L.M. *et al.*

v. 22, n. 11, p. 595-603, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.01.001>

CHIESA, M.; GARG, J.; KANG, Y. T.; CHEN, G. Thermal conductivity and viscosity of water-in-oil nanoemulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Oxford, v. 326, n. 1-2, p. 67-72, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2008.05.028>

CHUNG, H. J.; LIU, Q.; HOOVER, R. Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches. **Food Research International**, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 501-508, 2010 <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.030>

EL-AASSER, M. S.; SUDOL, E. D. Miniemulsions: overview of research and applications. **Journal of Coatings Technology and Research**, Berlin, v. 1, n. 1, p. 20-31, 2004.

FARHANG, B. Nanotechnology and lipids. **Lipid Technology**, Weinheim, v. 19, n. 6, p. 132-135, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/lite.200700045>

FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C.; ROCHA, G. A. Revisão: Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 103-112, 2008.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, Amsterdam, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>

GUTIÉRREZ, J. M.; GONZÁLEZ, M.; SOLÈ, I.; PEY, C. M.; NOLLA, J. Nano-emulsions: new applications and optimization of their preparation. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, Oxford, v. 13, n. 4, p. 245-251, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cocis.2008.01.005>

HEDENQVIST, M. S.; BACKMAN, A.; GALLSTEDT, M.; BOYD, R. H.; GEDDE, U. W. Morphology and diffusion properties of whey/montmorillonite nanocomposites. **Composites Science and Technology**, Oxford, v. 66, n. 13, p. 2350-2359, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.11.026>

HELGASON, T.; AWAD, T. S.; KRISTBERGSSON, K.; MCCLEMENTS, D. J.; WEISS, J. Effect of surfactant surface coverage on formation of solid lipid nanoparticles (SLN). **Journal of Colloid and Interface Science**, Oxford, v. 334, n. 1, p. 75-81, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2009.03.012>

HOET, P. H. M.; BRÜSKE-HOHLFELD, I.; SALATA, O. V. Nanoparticles - known and unknown health risks. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 2, n. 12, p. 1-15, 2004. <http://dx.doi.org/10.1186/1477-3155-2-12>

HSIEH, W. C.; CHANG, C. P.; GAO, Y. L. Controlled release properties of Chitosan encapsulated volatile Citronella Oil microcapsules by thermal treatments. **Colloids and Surfaces**

**B: Biointerfaces**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 209-214, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2006.09.008>

JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; BHANDARI, B.; HE, Y. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. **Food Research International**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 172-183, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2007.11.002>,

JEE, J. P.; LIM, S. J.; PARK, J. S.; KIM, C. K. Stabilization of all-trans retinol by loading lipophilic antioxidants in solid lipid nanoparticles. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, Oxford, v. 63, p. 134-139, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpb.2005.12.007>

KENTISH, S.; WOOSTER, T. J.; ASHOKKUMAR, M.; BALACHANDRAN, S.; MAWSON, R.; SIMONS, L. The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Oxford, v. 9, n. 2, p. 170-175, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2007.07.005>

KLAYPRADIT, W.; HUANG, Y. W. Fish oil encapsulation with chitosan using ultrasonic atomizer. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 41, n. 6, p. 1133-1139, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.014>

LACOSTE, A.; SCHAICH, K. M.; ZUMBRUNNEN, D.; YAM, K. L. Advancing controlled release packaging through smart blending. **Packaging Technology and Science**, Inglaterra, v. 18, n. 2, p. 77-87, 2005. <http://dx.doi.org/10.1002/pts.675>

LANDFESTER, K.; EISENBLATTER, J.; ROTHE, R. Preparation of polymerizable miniemulsions by ultrasonication. **Journal of Coatings Technology and Research**, Berlin, v. 1, n. 1, p. 65-68, 2004. <http://dx.doi.org/10.1007/s11998-004-0026-y>

LIPPACHER, A.; MÜLLER, R. H.; MÄDER, K. Preparation of semisolid drug carriers for topical application based on solid lipid nanoparticles. **International Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 214, n. 1-2, p. 9-12, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-5173\(00\)00623-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-5173(00)00623-2)

LIU, J.; CHANG, S. K. C.; WIESENBERN, D. Antioxidant properties of soybean isoflavone extract and tofu in vitro and in vivo. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v. 53, n. 6, p. 2333-2340, 2005. <http://dx.doi.org/10.1021/jf048552e>

MALHEIROS, P. S.; DAROIT, D. J.; BRANDELLI, A. Food applications of liposome- encapsulated antimicrobial peptides. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 284-292, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.03.003>

MATSUNO, R.; ADACHI, S. Lipid encapsulation technology - techniques and applications to food. **Trends in Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 4, n. 8, p. 256-261, 1993. [http://dx.doi.org/10.1016/0924-2244\(93\)90141-V](http://dx.doi.org/10.1016/0924-2244(93)90141-V)

MEHNERT, W.; MADER, K. Solid lipid nanoparticles: Production, characterization and applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 47, p. 165-196, 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00105-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00105-3),

**Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos**

ASSIS, L.M. et al.

- MOHANTY, A. K.; DRZAL, L. T.; MISRA, M. Nano-reinforcement of bio-based polymers-the hope and reality. **Polymeric Materials: Science and Engineering**, New Jersey, v. 88, p. 60-61, 2003.
- MORARU, C.; PANCHAPAKESAN, C.; HUANG, Q.; TAKHISTOV, P.; LIU, S.; KOKINI, J. Nanotechnology: A new frontier in food science. **Food Technology**, Chicago, v. 57, n. 12, p. 24-29, 2003.
- MOZAFARI, M. R.; KHOSRAVI-DARANI, K.; BORAZAN, G. G.; CUI, J.; PARDAKHTY, A.; YURDUGUL, S. Encapsulation of food ingredients using nanoliposome technology. **International Journal of Food Properties**, v. 11, n. 4, p. 833-844, 2008. <http://dx.doi.org/10.1080/10942910701648115>
- MÜLLER, R. H.; MADER, K.; GOHLA, S. Solid lipid nanoparticles (SLN) for controlled drug delivery - a review of the state of the art. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 50, p. 161-177, 2000.
- NACKA, F.; CANSSELL, M.; GOUYGOU, J. P.; GERBEAUD, C.; MÉLÉARD, P.; ENTESSANGLES, B. Physical and chemical stability of marine lipid bases liposomes under acid conditions. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 20, p. 257-266, 2001.
- OLABARRIETA, I.; GALLISTEDL, M.; ISPIZUA, I.; SARASUA, J. R.; HEDENQVIST, M. S. Properties of aged montmorillonite-wheat gluten composite films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 54, n. 4, p. 1283-1288, 2006. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0522614>
- PARK, H. M.; LEE, W. K.; PARK, C. Y.; CHO, W. J.; HA, C. S. Environmentally friendly polymer hybrids. Part I. Mechanical, thermal, and barrier properties of thermoplastic starch/clay nanocomposites. **Journal of Materials Science**, v. 38, n. 5, p. 909-915, 2003. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022308705231>
- PODSIADLO, P.; CHOI, S. Y.; SHIM, B.; LEE, J.; CUDDIHY, M.; KOTOV, N. A. Molecularly engineered nanocomposites: layer-by-layer assembly of cellulose nanocrystals. **Biomacromolecules**, Washington, v. 6, n. 6, p. 2914-2918, 2005. <http://dx.doi.org/10.1021/bm050333u>
- RAY, S. S.; OKAMOTO, K.; OKAMOTO, M. Structure property relationship in biodegradable poly(butylene succinate)/layered silicate nanocomposites. **Macromolecules**, Washington, v. 36, n. 7, p. 2355-2367, 2003.
- RAMALDES, G. A.; DEVERRE, J. R.; GROGNET, J. M.; PUISIEX, F.; FATTAL, E. Use of an enzyme immunoassay for the evaluation of the entrapment efficiency and in vitro stability in intestinal fluids of liposomal bovine serum albumin. **International Journal of Pharmaceutics**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 1- 11, 1996.
- RHIM, J. W.; LEE, J. H.; KWAK, H. S. Mechanical and barrier properties of soy protein and clay mineral composite films. **Food Science and Biotechnology**, New Jersey, v. 14, p. 112-116, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodeng.2010.04.035>
- RHIM, J. W.; NG, P. K. W. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York, v. 47, n. 4, p. 411-433, 2007. <http://dx.doi.org/10.1080/10408390600846366>
- SAHOO, S. K.; PARVEEN, S.; PANDA, J. J. The present and future of nanotechnology in human health care. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine**, Oxford, v. 3, n. 1, p. 20-31, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2006.11.008>
- SANGUANSRI, P.; AUGUSTIN, M. A. Nanoscale materials development e a food industry perspective. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 547-556, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.010>
- SCHMITT, C.; SANCHEZ, C.; DESOBRY-BANON, S.; HARDY, J. Structure and technofunctional properties of protein-polysaccharide complexes: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 38, n. 8, p. 689-753, 1998. <http://dx.doi.org/10.1080/10408699891274354>
- SEETAPAN, N.; BEJRAPHAPHA, P.; SRINUANCHAI, W.; RUKTANONCHAI, U. R. Rheological and morphological characterizations on physical stability of gamma-oryzanol-loaded solid lipid nanoparticles (SLNs). **Micron**, Oxford, v. 41, n. 1, p. 51-58, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micron.2009.08.003>
- SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. Encapsulation of food ingredients. **Critical Review in Food Science and Nutrition**, New York, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993. <http://dx.doi.org/10.1021/bk-1995-0590.ch003>
- SHATKIN, J. A. **Nanotechnology: Health and Environmental Risks**. Nova Iorque: CRC Press - Taylor and Francis Group, 2008. 167 p.
- SIEGRIST, M.; COUSIN, M-E.; KASTENHOLZ, H.; WIEK, A. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. **Appetite**, Suíça, v. 49, p. 459-466, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2007.03.002>
- SONNEVILLE-AUBRUN, O.; SIMONNET, J. T.; L'ALLORET, F. Nanoemulsions a new vehicle for skincare products. **Advances in Colloid and Interface Science**, Oxford, v. 108-109, p. 145-149, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.026>
- SORRENTINO, A.; GORRASI, G.; VITTORIA, V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. **Trends in Food Science & Technology**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 84-95, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2006.09.004>
- SOUTO, E. B.; MÜLLER, R. H. The use of SLN nad NLC as tropical particulate carriers for imidazole antifungal agents. **Pharmazie**, v. 61, n. 5, p. 431-437, 2006.
- SOZER, N.; KOKINI, J. L. Nanotechnology and its applications in the food sector. **Trends in Biotechnology**, Oxford, v. 27, n. 2, p. 82-89, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.10.010>
- STRAUSS, G.; GIBSON S. M. Plant phenolics as cross-linkers of gelatin gels and gelatin-based coacervates for use as food

**Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos**ASSIS, L.M. *et al.*

- ingredients. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 18, n. 1, p. 81-89, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00045-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00045-6)
- TADROS, T.; IZQUIERDO, P.; ESQUENA, J.; SOLANS, C. Formation and stability of nano-emulsions. **Advances in Colloid and Interface Science**, Oxford, v. 108-109, p. 303-318, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.023>
- TAYLOR, T. M.; DAVIDSON, P. M.; BRUCE, B. D.; WEISS, J. Liposomal nanocapsules in food science and agriculture. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, p. 587-605, 2005. <http://dx.doi.org/10.1080/10408390591001135>
- TEWA-TAGNE, P.; BRIANÇON, S.; FESSI, H. Preparation of redispersible dry nanocapsules by means of spray-drying: Development and characterization. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, Oxford, v. 30, n. 2, p. 124-135, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejps.2006.10.006>
- THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, n. 3, p. 71-78, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- TOLSTOGUSOV, V. B. Functional properties of food proteins and roles of proteins-polisaccharides. **Food Hydrocolloids**, v. 4, n. 6, p. 429-468, 1991. [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X\(09\)80196-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-005X(09)80196-3)
- TRIPLETT II, M. D.; RATHMAN, J. F. Optimization of  $\beta$ -carotene loaded solid lipid nanoparticles preparation using a high shear homogenization technique. **Journal of nanoparticle research**, v. 11, n. 3, p. 601-614, 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-008-9402-3>
- VANDERGAER, J. E. Encapsulation by coacervation. In: VANDEGAER, J. E. (Ed.). **Microencapsulation: Processes and Applications**. New York: Plenum, 1974. p. 1-20.
- VASILIU, S.; POPA, M.; RINAUDO, M. Polyelectrolyte capsules made of two biocompatible natural polymers. **European Polymer Journal**, Oxford, v. 41, n. 5, p. 923-932, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2004.11.017>
- WEISS, J.; DECKER, E.A.; McCLEMENTS, J.; KRISTBERGSSON, K.; HELGASON, T. AWAD, T. Solid lipid nanoparticles as delivery systems for bioactive food components. **Food Biophysics**, Berlin, v. 3, n. 2, p. 146-154, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/s11483-008-9065-8>
- WEISS, J.; TAKHISTOV, P.; MCCLEMENTS, J. Functional Materials in Food Nanotechnology. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 71, n. 9, p. 107-116, 2006. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00195.x>
- WISSING, S. A.; KAYSER, O.; MULLER, R. H. Solid lipid nanoparticles for parenteral drug delivery. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 56, p. 1257-1272, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2003.12.002>