

# MÉTODOS DE SÍNTESE E APLICAÇÕES DE NANOPARTÍCULAS DE $Mg(OH)_2$

Luciana M. Milena, Rafael Salomão

Universidade Federal do ABC  
Programa de Pós-Graduação em Nanociências e Materiais Avançados  
Rua da Catequese, 242, 09090-400 Santo André, SP – Brasil  
luciana.milena@ufabc.edu.br ou rafael.salomao@ufabc.edu.br

## RESUMO

*A adição de nanopartículas inorgânicas a matrizes poliméricas pode levar à formação de uma importante classe de materiais conhecidos como nanocompósitos poliméricos. Devido às interessantes combinações de propriedades que podem ser obtidas (como elevadas rigidez, dureza superficial e resistência ao impacto, por exemplo), esses sistemas despertaram grande interesse recentemente. Diversos tipos de nanopartículas têm sido utilizados para essa aplicação, entre eles, as argilas organofílicas. Apesar de seu bom desempenho, as dificuldades de processamento em sua obtenção, as variações de composição intrínsecas às matérias primas naturais e o elevado custo têm motivado sua substituição por outros sistemas mais robustos, simples e baratos. Em comparação com a argila, partículas de hidróxido de magnésio ( $Mg(OH)_2$ ), de um modo geral, apresentam maior reprodutibilidade, menor contaminação por elementos estranhos e ainda atuam de forma bastante eficiente como agente anti-chama. Este trabalho apresenta uma comparação crítica entre os vários métodos utilizados na síntese dessas partículas.*

Palavras-chave: nanopartículas, hidróxido de magnésio, brucita.

## 1) INTRODUÇÃO

Nanopartículas são, por definição, unidades individuais de matéria cujas dimensões sejam da ordem de 10 a 100 nm. Apesar dessa definição generalista, a grande maioria das nanopartículas compartilha características similares entre si. Entre elas, a mais importante é o fato dessas partículas apresentarem propriedades distintas em relação ao mesmo material em escala micro ou macroscópica, como por exemplo, ponto de fusão e densidade. Essas diferenças provêm da grande proporção de átomos próximos à superfície do material que existe quando suas dimensões são reduzidas a essa ordem de grandeza. Devido ao menor número de coordenação e às ligações insatisfeitas, os átomos da superfície do material (que correspondem de forma geral às dez primeiras camadas atômicas) possuem uma

menor energia de ligação entre si, necessitando, portanto, de menores energias de ativação para a maioria dos processos físico-químicos.

Entre os inúmeros tipos de nanopartículas que têm sido estudadas, as de hidróxido de magnésio ( $Mg(OH)_2$ ) têm despertado grande interesse científico e tecnológico, motivado por alguns aspectos principais. 1) As matérias primas e reagentes empregados na síntese do  $Mg(OH)_2$  são razoavelmente abundantes na natureza, como os minerais bischofita ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) e magnesita ( $MgHCO_3$ ), de fácil extração e baixo custo. 2) As rotas de síntese mais comumente empregadas utilizam processos bastante conhecidos e facilmente controláveis, como reações de precipitação por deslocamento de equilíbrio químico e envelhecimento hidrotermal. A combinação dessas rotas com as igualmente bem estabelecidas características físico-químicas desse composto permite que uma grande variedade de estruturas, geometrias e tamanhos de partículas seja obtida. 3) Finalmente, íons  $Mg^{2+}$  e seus compostos, em geral, apresentam baixa agressividade do ponto de vista toxicológico e ambiental. Diversas aplicações dessas nanopartículas podem ser encontradas na literatura, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Algumas aplicações das nanopartículas de  $Mg(OH)_2$ .

Aplicação	Função e referência
Nanocompósitos poliméricos	Aditivo anti-chama, reforço mecânico <sup>(1-5)</sup>
Desidrogenação do etanol	Suporte catalítico <sup>(6)</sup>
Suporte para síntese de nanotubos de carbono	Permite a dispersão de nanopartículas de Fe ou W que iniciam a síntese dos nanotubos. Ao final do processo, o suporte pode ser removido com HCl <sup>(7,8)</sup>
Liberação controlada de medicamentos	Partículas com nanoporos que se dissolvem somente em condições específicas (pH ácido, por exemplo) <sup>(9)</sup>
Cerâmicas porosas	Gerador de poros e <i>template</i> para estruturas microporosas <sup>(10,11)</sup>

Cada uma dessas aplicações requer partículas com características próprias e muito específicas. Para o caso da ação como agente de reforço em polímeros, por exemplo, partículas com elevada razão de aspecto são necessárias; para a entrega controlada de fármacos, por outro lado, o requisito principal é a porosidade superficial das partículas. Essa especificidade justifica, portanto, o conhecimento e o desenvolvimento de vários métodos de síntese de nanopartículas de hidróxido de magnésio.

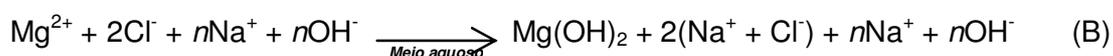
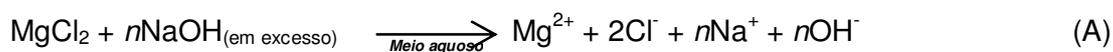
De maneira geral, há duas rotas principais para a síntese de nanomateriais e para a fabricação de nanoestruturas: *top-down* (do “macro para o nano”) e *bottom-up* (do “atômico para o nano”). Moagem é um método tipicamente *top-down* para a obtenção de nanopartículas, enquanto que a dispersão coloidal é um bom exemplo

de uma rota tipo bottom-up para a síntese de materiais nanoestruturados.<sup>(12)</sup> Na rota top-down, o maior problema reside na imperfeição da superfície da estrutura obtida. Litografia e moagem, por exemplo, podem causar danos cristalográficos significativos ao material e introduzir defeitos adicionais durante o processo. No caso do hidróxido de magnésio micrométrico como ponto de partida, a moagem convencional não é eficaz o bastante para a obtenção de partículas nanométricas. Por meio dessa técnica, cuja eficácia diminui exponencialmente em função do tamanho mínimo a ser atingido, o máximo que se obtém são partículas de 1 a 0,2  $\mu\text{m}$ , com superfícies irregulares e de baixa simetria.<sup>(13)</sup> A característica mais marcante do caminho bottom-up é a construção de sistemas de dimensões superiores a partir de espécies elementares, como átomos e moléculas. Ele favorece a obtenção de nanopartículas com menos defeitos, composição química mais homogênea e melhor organização estrutural a curto e a longo alcance. Isso ocorre porque essa rota é guiada principalmente pela redução da Energia Livre de Gibbs do sistema, de modo que as nanoestruturas e nanomateriais assim produzidos encontram-se num estado próximo ao de equilíbrio termodinâmico. Ao contrário, a rota top-down tende a induzir o material a um estado de stress interno, além de gerar defeitos superficiais e contaminação.<sup>(12)</sup>

Este trabalho apresenta de forma crítica alguns métodos tipo bottom-up de obtenção de hidróxido de magnésio nanométrico encontrados na literatura, nos quais os parâmetros reacionais interferem diretamente na cristalinidade do material obtido, bem como na geometria das partículas. Em cada caso, os conceitos fundamentais envolvidos, as nanoestruturas geradas e as propriedades correspondentes obtidas são apresentados.

## 2) MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE $\text{Mg}(\text{OH})_2$

De maneira geral, nanopartículas de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  são obtidas por meio de uma reação de precipitação de um sal de magnésio em meio alcalino, como exemplificado para a reação entre  $\text{MgCl}_2$  e  $\text{NaOH}$ , a seguir:



Como o  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  apresenta baixa solubilidade em água (menos de 0,001 g/100 g de água, a 25°C, em pH 7-14), sua formação é termodinamicamente favorável, enquanto o ânion original se combina com o cátion da base para formar um novo sal solúvel. Diversos processos podem então serem empregados para separar o  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  precipitado da fase líquida como decantação, centrifugação e filtração à vacuo (em alguns casos, essa operação pode não ser efetiva devido ao tamanho das partículas produzidas). Nas próximas seções, diferentes métodos de utilização das reações A e B, assim como algumas variações, são apresentados.

## **2.1) Precipitação em solução aquosa**

Nesse método, sais de magnésio em solução são submetidos à reação com uma solução alcalina sob temperaturas controladas, como exemplifica a Tabela 2:

Tabela 2: Composição e condições de reação das diferentes amostras.<sup>(14)</sup>

Amostra	Sal de Magnésio	Base	Temperatura (°C)
1	$\text{MgCl}_2$	$\text{NaOH}$	60
2	$\text{MgCl}_2$	$\text{NH}_4\text{OH}$	60
3	$\text{MgCl}_2$	$\text{NH}_4\text{OH}$	25
4	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	$\text{NH}_4\text{OH}$	25
5	$\text{MgSO}_4$	$\text{NH}_4\text{OH}$	25
6	$\text{MgCl}_2$	$\text{NH}_4\text{OH}$	10
7	$\text{MgCl}_2$	$\text{NH}_4\text{OH}$	47

Para analisar a influência da base precipitante, pode-se escolher as amostras 1 e 2. A estrutura cristalina do hidróxido de magnésio é tal que os cátions  $\text{Mg}^{2+}$  encontram-se coordenados em 6 pontos por grupos  $\text{OH}^-$ , formando estruturas octaédricas que se empilham umas sobre as outras. Devido a essa estrutura cristalina em camadas, há uma tendência natural de se obter partículas de hidróxido de magnésio em forma de placas hexagonais. Porém, no caso da amostra 1, formou-se uma estrutura globular que pode ser descrita como grandes agregados de unidades esféricas de aproximadamente 300 nm de diâmetro, os próprios sendo formados por sub-unidades esféricas menores, e assim sucessivamente, como pode ser visto na Fig. 1a.<sup>(14)</sup>

Em determinado ponto da reação de precipitação, indicado pela elevação do pH a 13, houve uma supersaturação de íons hidroxila, o que tornou o processo de nucleação extremamente rápido, gerando muitos núcleos pequenos e pouco definidos. Além disso, como a superfície das partículas tornou-se negativa devido ao

excesso de  $\text{OH}^-$ , depois da nucleação houve uma migração de cátions  $\text{Na}^+$  em solução em direção aos cristais em crescimento. Os cátions, adsorvidos sem seletividade alguma sobre os cristais, dificultaram a aproximação de íons  $\text{Mg}^{2+}$  e o subsequente crescimento. Como essas pequenas partículas tendem a agregar-se de maneira a diminuir sua energia superficial, acabam adotando a estrutura globular mostrada na Fig. 1a.<sup>(14)</sup>

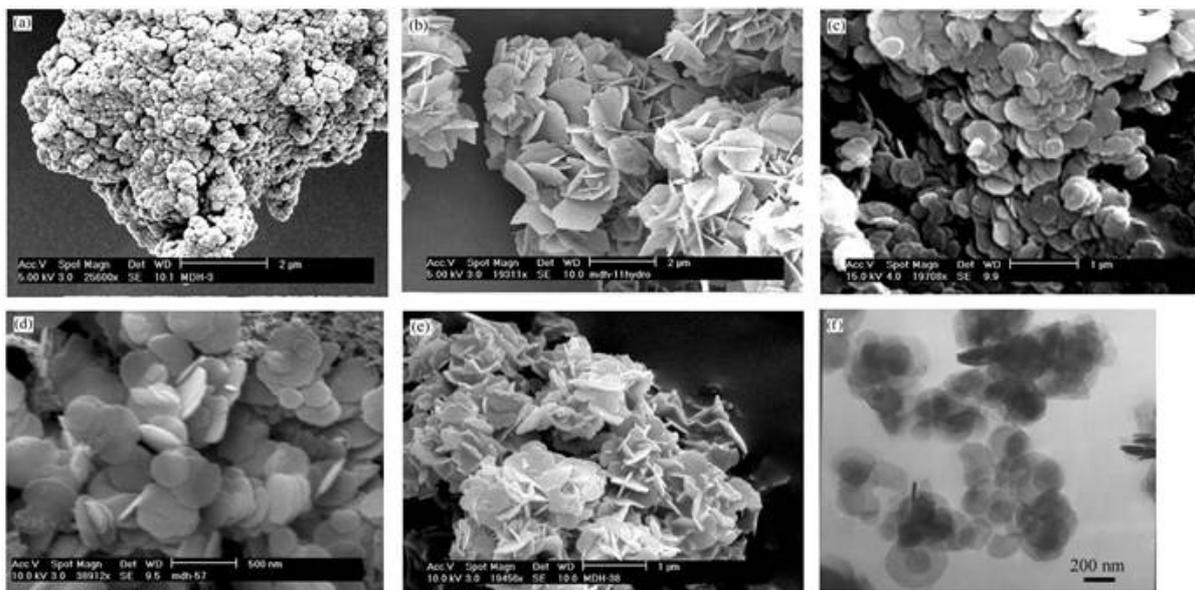


Fig. 1: Micrografias eletrônicas de varredura das amostras 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d), 5 (e), e Micrografia eletrônica de transmissão da amostra 3 (f).<sup>(14)</sup>

Como pode ser visto na Fig. 1b, as partículas de hidróxido de magnésio obtidas em presença de  $\text{NH}_4\text{OH}$  a  $60^\circ\text{C}$  apresentam forma de placas. Estas não estão aleatoriamente empilhadas, mas apresentam um inter-crescimento. No caso da amostra 2, como o pH da suspensão foi igual a 10, ou seja, não houve uma supersaturação da suspensão com íons  $\text{OH}^-$ , as partículas não foram negativamente carregadas e a adsorção de cátions  $\text{NH}_4^+$  não foi favorecida. Isso contribuiu para a formação de cristais de hidróxido de magnésio sem “contaminação” catiônica.<sup>(14)</sup>

Para analisar o efeito da temperatura, é oportuno escolher as amostras 2, 3, 6 e 7. Do ponto de vista morfológico, todas as sínteses feitas abaixo de  $60^\circ\text{C}$  originaram a uma estrutura comum, caracterizada por partículas finas em forma de placas com um contorno aproximadamente circular, como pode ser visto na Fig. 1c, ao passo que a síntese a  $60^\circ\text{C}$  produz uma estrutura característica de inter-crescimento (Fig. 1b). Pode-se concluir que as reações que ocorrem em temperaturas maiores possuem uma nucleação rápida, o que leva à formação de numerosos cristais

pequenos. Em temperaturas menores, a nucleação mais lenta favorece o crescimento de cristalitos, o que leva à formação de menores quantidades de partículas, porém com maior tamanho.<sup>(14)</sup>

Em relação à influência da fonte de magnésio a 25°C, deve-se analisar as amostras 3, 4 e 5. As partículas de hidróxido de magnésio obtidas por meio da reação entre  $MgCl_2$  e  $NH_4OH$  (amostra 3) e entre  $Mg(NO_3)_2$  e  $NH_4OH$  (amostra 4) apresentam-se sob a forma de placas dispersas de contorno circular, com diâmetro médio de 355 nm, como mostram as figuras 1c e 1d. Já as partículas de  $Mg(OH)_2$  resultantes da reação entre  $MgSO_4$  e  $NH_4OH$  (Fig. 1e) ficaram aglomeradas e conectadas umas às outras.<sup>(14)</sup> As partículas da amostra 3 foram tratadas hidrotermicamente a 170°C durante 1 semana. Como pode ser observado na Fig. 2a, o resultado do tratamento hidrotermal foram placas hexagonais maiores e mais bem definidas de hidróxido de magnésio. Porém, como mostra a Fig. 2b, a área superficial específica da partícula diminui gradualmente ao longo do tratamento hidrotermal, à medida que o tamanho médio das partículas aumenta.<sup>(14)</sup>

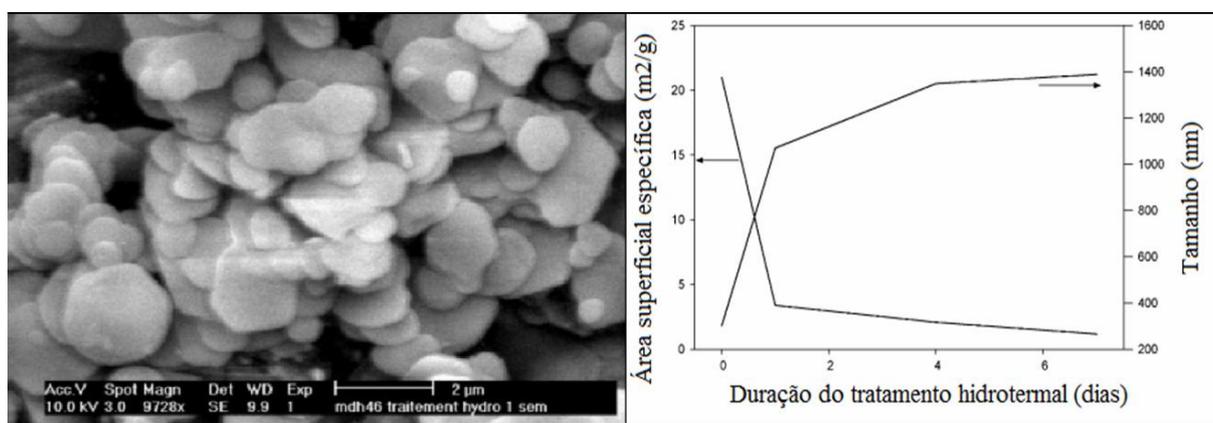


Fig. 2: Amostra 3 depois do tratamento hidrotermal a 170°C (a); Efeito da duração do tratamento hidrotermal (em dias) no tamanho das partículas e na área superficial específica do pó (b).<sup>(14)</sup>

## **2.2) Co-precipitação em presença de íons e agentes dispersantes**

Nanocristais de hidróxido de magnésio podem ser preparados via co-precipitação em meio aquoso a partir de  $MgSO_4$  e  $NaOH$ , em presença de íons multivalentes ( $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Zn^{2+}$ ) e de uma solução alcoólica de estearato de magnésio, cuja função como agente dispersante é impedir a aglomeração das nanopartículas de hidróxido de magnésio. Os raios iônicos das espécies  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Zn^{2+}$  são similares ao raio do íon  $Mg^{2+}$ .<sup>(15)</sup> Assim, na estrutura octaédrica

$\text{Mg}(\text{OH})_6$  presente no cristal de hidróxido de magnésio, os cátions acima citados podem facilmente ocupar os locais originalmente ocupados pelos cátions bivalentes de magnésio. Misturando hidróxido de sódio aquoso à solução de sal de magnésio que já contém um íon estranho, este se precipitará sob a forma de hidróxido metálico antes dos cátions  $\text{Mg}^{2+}$  e se adsorverá sobre as ligações mais fortes. Isso ocasiona a formação de núcleos com aspecto de bastões e, conseqüentemente, cristais de hidróxido de magnésio também em forma de bastões (Figura 3).<sup>(15)</sup>

Na Fig. 3, pode-se observar que os cristais de hidróxido de magnésio sintetizados na ausência de íons estranhos exibem morfologia hexagonal lamelar regular, com tamanho médio de 140 nm (*a* e *b*). A imagem *b* mostra que a obtenção de cristais de hidróxido de magnésio bem dispersos é possível com o auxílio de um surfactante; no caso, o estearato de magnésio. Os pontos no padrão de difração de elétrons para a amostra *b* indica que pode-se obter hidróxido de magnésio monocristalino sob essa condição reacional. Todavia, quando são incorporados alguns tipos de íons, a morfologia de todas as amostras de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  sofre uma modificação, de maneira que as nanopartículas adquirem aspecto de bastões, com tamanhos por volta de 150 nm x 8 nm, 100 nm x 10 nm, 80 nm x 10 nm e 120 nm x 8 nm, respectivamente, de acordo com as imagens de *c* a *f*.<sup>(15)</sup>

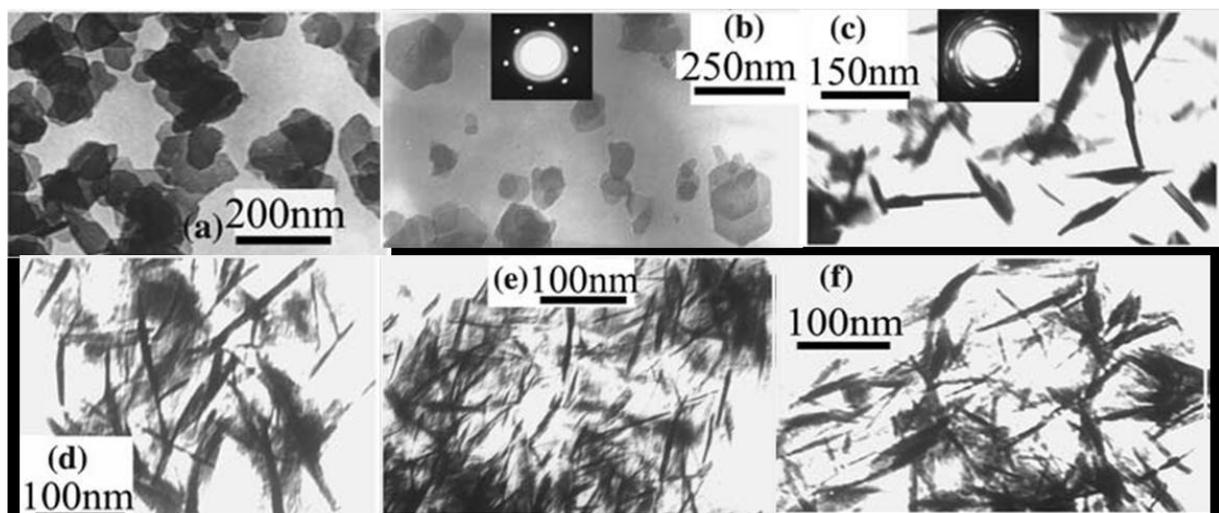


Fig. 3: Imagens de microscopia eletrônica de transmissão de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ : (a) sintetizado sem estearato de magnésio e íons multivalentes; (b) sintetizado na presença de estearato de magnésio, (c) sintetizado na presença de íons  $\text{Cu}^{2+}$ ; (d) sintetizado na presença de íons  $\text{Ni}^{2+}$ ; (e) sintetizado na presença de íons  $\text{Zn}^{2+}$ ; (f) sintetizado na presença de íons  $\text{Fe}^{3+}$ .<sup>(15)</sup>

A adsorção de moléculas de surfactantes à superfície das nanopartículas pode diminuir a energia superficial e prevenir a aglomeração das partículas. Dispersantes poliméricos, especificamente, servem para estabilizar o crescimento das

nanopartículas, bem como seu tamanho. A natureza dos dispersantes poliméricos é um parâmetro muito importante, pois exerce influência sobre as propriedades do material nanocompósito, tanto em solução aquosa como no estado sólido. Alguns agentes dispersantes relevantes são: gelatina, lauril-sulfato de sódio, polivinilpirrolidona, poliglicol éter, polisorbato 80 e associações.<sup>(16)</sup>

Nanopartículas de hidróxido de magnésio modificadas superficialmente por agentes dispersantes apolares são facilmente incorporadas a matrizes poliméricas pois, devido à compatibilidade química entre as espécies, a adesão entre a fase dispersa em questão e a matriz é bastante elevada. O nanocompósito obtido apresenta uma melhora significativa em suas propriedades anti-chama devido à boa dispersão das nanopartículas de  $Mg(OH)_2$  na matriz polimérica e também à formação de uma camada superficial protetora que tem propriedades de barreira a gases. Assim, a combustão não é alimentada e a queima do material tende à extinção.<sup>(1)</sup> Em comparação com o material microestruturado, o desempenho anti-chama do nanocompósito é melhor, pois, tendo o  $Mg(OH)_2$  dimensões nanométricas, a área superficial específica é maior e, conseqüentemente, maior é a área exposta para a liberação da água durante a decomposição do mesmo e para a absorção de calor na zona de combustão.<sup>(1)</sup>

### **2.3) Síntese em microemulsões de água em óleo**

A síntese de nanoplacas de hidróxido de magnésio pode ocorrer em microemulsões de água em óleo. Como em toda emulsão, resultante da mistura induzida entre dois líquidos imiscíveis, a fase dispersa (uma solução de  $MgCl_2$ ) encontra-se sob a forma de finos glóbulos no seio da fase contínua (ciclohexano). No procedimento realizado, gotículas nanométricas de água foram estabilizadas por uma monocamada de surfactante/co-surfactante (Triton X-100 e n-hexanol) e segregadas pela fase contínua apolar. Neste caso, a precipitação do  $Mg(OH)_2$  ocorreu no interior das gotículas de água, nas quais um fluxo de amônia penetrou e, encontrando os íons  $Mg^{2+}$  provenientes da fase dispersa, reagiu como demonstrado nas Equações A e B.<sup>(17)</sup> Pode-se dizer que a precipitação de  $Mg(OH)_2$  ocorreu nas “piscinas de água” das micelas, o que permite concluir que a nanopartícula cresce mais no interior das maiores “piscinas”. Como mostram a Tabela 4 e a Fig. 4, as maiores micelas reversas foram observadas nas amostras com menores quantidades da mistura tensoativa (surfactante e co-surfactante).<sup>(17)</sup>

Em um sistema como o descrito, há vários fatores favoráveis à obtenção de nanocristais bem dispersos de  $Mg(OH)_2$ . Em primeiro lugar, pelo fato de os íons  $Mg^{2+}$  e a amônia aquosa estarem confinados em piscinas nanométricas de água, pode-se dizer que há, em seu interior, concentrações relativamente altas dos reagentes. Por esta razão, a nucleação é facilitada e ocorre mais rapidamente, levando à formação de pequenos e numerosos cristalitos. Em segundo lugar, todos os estágios da nucleação, crescimento e cristalização das nanopartículas ficam confinados no interior das gotículas de água da emulsão. Sendo assim, a existência das micelas reversas leva à nucleação homogênea e a um estreitamento da distância entre as partículas. Em terceiro lugar, as cadeias apolares (hidrocarbonetos) são adsorvidas à superfície do  $Mg(OH)_2$  obtido e atuam como agentes estabilizantes das nanopartículas, impedindo-as de sofrer aglutinação ou agregação.<sup>(17)</sup>

Tabela 4: Microemulsões, tamanho das micelas formadas e dos cristalitos obtidos.<sup>(17)</sup>

Amostra	Ciclohexano (g)	TX100 + n-hexanol (g)	$MgCl_2$ (g)	Micelas reversas (nm)	Cristalitos de $Mg(OH)_2$ (nm)
1	46	29	25	59,3	16,5
2	44	31	25	58,2	15,3
3	42	33	25	54,7	14,4
4	40	35	25	50,2	11,7

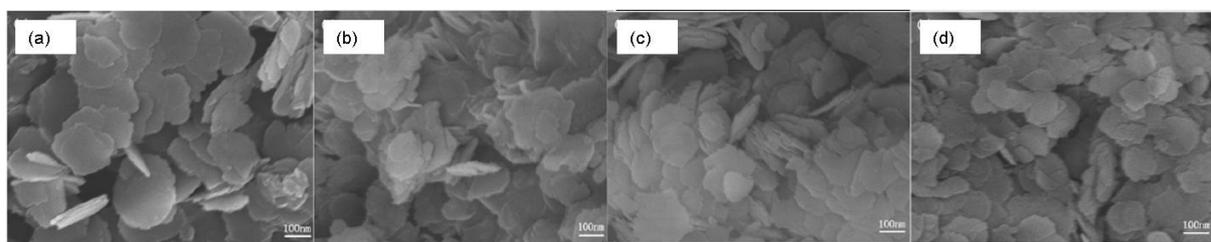


Fig. 4: Imagens de microscopia eletrônica de varredura das amostras 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d). Nanopartículas em forma de placas de espessura aproximada de 20 nm.<sup>(17)</sup>

## **2.5) Síntese de nanopartículas de $Mg(OH)_2$ por ablação a laser**

A ablação a laser em meio líquido ocorre quando um raio laser de alta energia é focalizado sobre um alvo sólido que encontra-se submerso em um líquido. Para a síntese de nanopartículas de  $Mg(OH)_2$ ,  $MgO$  e  $Mg$ , o alvo sólido trata-se de tiras milimétricas de magnésio metálico com 99,99% de pureza ( $25 \times 25 \text{ mm}^2$  e 1 mm de espessura) e a fase líquida pode ser acetona, 2-propanol, água deionizada e soluções aquosas de dodecil sulfato de sódio com diferentes concentrações. O sólido que se encontra no ponto focal é aquecido e funde-se rapidamente. Devido ao

calor proveniente do metal aquecido, a camada de líquido imediatamente adjacente à superfície do sólido é aquecida à mesma temperatura do sólido, que é muito superior a sua própria temperatura de ebulição à pressão normal. O líquido é, então, vaporizado, produzindo um plasma de alta pressão e alta temperatura contendo espécies altamente ionizadas. O plasma expande-se violentamente, causando a fragmentação do material fundido em aglomerados nanométricos que são, em seguida, resfriados pelo líquido circunvizinho.<sup>(18)</sup>

A ablação em acetona e em 2-propanol gera nanocristais de MgO e Mg, que ocorrem como partículas isoladas e como cadeias aglomeradas, provavelmente misturadas a resíduos orgânicos resultantes da alteração/decomposição dos solventes sob condições de alta energia. A ablação a laser em água deionizada e em soluções aquosas de dodecil sulfato de sódio de diferentes concentrações, no entanto, gerou nanopartículas de hidróxido de magnésio com diferentes cristalinidades e morfologias dependendo da concentração da solução de dodecil sulfato de sódio. A ablação em água deionizada originou nanopartículas em forma de fibras com um diâmetro de 5 a 10 nm e comprimentos de 150 nm.

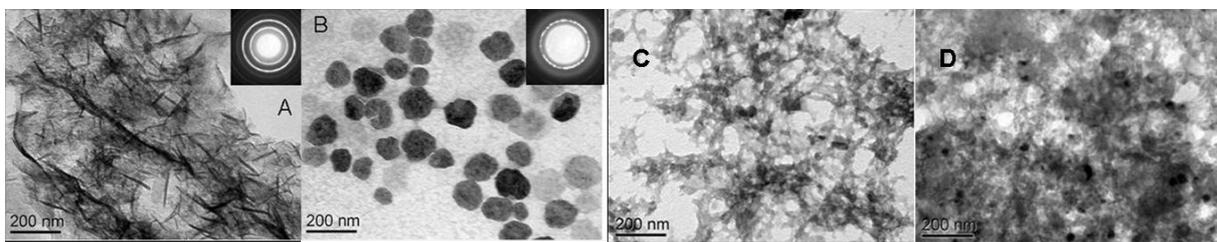


Fig. 6: Microscopias eletrônicas de transmissão dos nanofluidos produzidos por ablação a laser de magnésio metálico em: (a) água deionizada, (b) solução aquosa de dodecil sulfato de sódio, (c) propano e (d) acetona.<sup>(18)</sup>

Materiais produzidos em soluções aquosas de dodecil sulfato de sódio possuem partículas com diferentes tamanhos e formas: alguns apresentam superfícies ásperas e formas irregulares; nanopartículas esféricas, em forma de bastões, triangulares e em forma de placas também foram observadas. Essa série de experimentos promove uma forte evidência de que os solventes específicos e os surfactantes utilizados durante a ablação a laser de magnésio metálico podem ditar o mecanismo de crescimento das partículas e controlar a composição dos nanomateriais produzidos.<sup>(18)</sup>

### 3) CONCLUSÕES

O hidróxido de magnésio é um importante material inorgânico e não tóxico que encontra larga aplicação em vários campos. Como exemplo, pode-se citar seu papel como agente retardante de chama em polímeros, *template* para estruturas cerâmicas microporosas, precursor do óxido de magnésio, neutralizante de resíduos ácidos, entre outras aplicações. Nanopartículas de hidróxido de magnésio apresentam propriedades de destaque. Como exemplo,  $Mg(OH)_2$  nanométrico se decompõe em temperaturas menores que seu equivalente micrométrico, o que faz com que sua performance anti-chama se inicie antes de um incêndio alastrar-se em demasia. Isso ocorre pelo fato de nanopartículas, em geral, possuírem área superficial específica elevada e, conseqüentemente, uma grande quantidade de átomos superficiais, que são mais instáveis e requerem menos energia que átomos não superficiais para se decompor. Dependendo da aplicação da partícula, sua morfologia e seu tamanho são características fundamentais. Por essa razão, a síntese de nanopartículas de  $Mg(OH)_2$  por diferentes rotas é muito importante e continua em desenvolvimento.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Longzhen Qiu, Rongcai Xie, Peng Ding, Baojun Qu. *Composite Structures*, 62. 2003. P. 391-395.
- [2] Peng Liu, Jinshan Guo. *Journal of Nanoparticle Research*, 9. 2006. P. 669-673.
- [3] Hua Gui, Xiaohong Zhang, Yiuqun Liu, Weifu Dong, Qingguo Wang, Jianming Gao, Zhilai Song, Jinmei Lai, Jinliang Qiao. *Composites Science and Technology*, 67. 2007. P. 974-980.
- [4] Fangzhi Zhang, Hong Zhang, Zhixing Su. *Polymer Bulletin*, 60. 2008. P. 251-257.
- [5] Fangzhi Zhang, Xiping Lei, Zhixing Su, Hong Zhang. *Journal of Polymer Research*, 15. 2008. P. 319-323.
- [6] J. Link Shumaker, Czarena Crofcheck, S. Adam Tackett, Eduardo Santillan-Jimenez, Tonya Morgan, Yaying Ji, Mark Crocker, Todd J. Toops. *Applied Catalysis*, 82. 2008. P. 120-130.
- [7] Zhang Qiang, Zhao Mengqiang, Huang Jiaqi, Qian Weizhong, Wei Fei. *Chinese Journal of Catalysis*, 29. 2008. P. 1138-1144.
- [8] S. Kawasaki, M. Shinoda, T. Shimada, F. Okino, H. Touhara. *Carbon*, 44. 2006. P. 2139-2141.
- [9] Shoucang Shen, Pui Shan Chow, Fengxi Chen, Reginald Beng Hee Tan. *Chemical Pharmaceutical Bulletin*, 55. 2007. P. 985-991.
- [10] R. R. Menezes, P. M. Souto, R. H. G. A. Kiminami. *Cerâmica*, 53. 2007. P. 1-10.
- [11] M. O. C. Villas Bôas, R. Salomão, V. C. Pandolfelli. *Cerâmica*, 53. 2007. P. 361-367.
- [12] CAO, Guozhong. Characterization and properties of nanomaterials. In: **Nanostructures & nanomaterials – synthesis, properties & applications**. Washington: Imperial college press, 2004. cap. 8, p. 329-390.
- [13] REED, James S. **Principles of Ceramics Processing**. Washington: John Wiley Professio, 1995. 2ª edição. 688 p.
- [14] C. Henrist, J. P. Mathieu, C. Vogels, A. Rulmont, R. Cloots. *Journal of Crystal Growth*, 249. 2003. P. 321-330.
- [15] Dehong Chen, Lunyu Zhu, Huaiping Zhang, Kai Xu, Mingcai Chen. *Materials Chemistry and Physics*, 109. 2008. P. 224-229.

- [16] Xiaotang Lv, Hari-Bala, Minggang Li, Xiaokun Ma, Shanshan Ma, Ye Gao, Lanqin Tang, Jingzhe Zhao, Yupeng Guo, Xu Zhao, Zichen Wang. *Colloids and Surfaces*, 296. 2007. P. 97-103.
- [17] Jianming Wu, Hong Yan, Zuehu Zhang, Liqiao Wei, Xuguang Liu, Bingshe Xu. *Journal of Colloid and Interface Science*, 324. 2008. P. 167-171.
- [18] T. X. Phuoc, B. H. Howard, D. V. Martello, Y. Soong, M. K. Chyu. *Optics and Lasers in Engineering*, 46. 2008. P. 829 – 834.

## **METHODS OF SYNTHESIS AND APPLICATIONS FOR Mg(OH)<sub>2</sub> NANOPARTICLES**

### **ABSTRACT**

*The addition of inorganic nanoparticles to polymeric matrices can lead to the formation of an important class of materials, known as polymeric nanocomposites. Due to the interesting combinations of properties that can be obtained (such as high mechanical strength, surface hardness and impact strength, for example), these systems were highly explored recently. Several kinds of nanoparticles have been used for this application, among them, the organophilic clays. Despite the good performance, the processing difficulties, the intrinsic composition variations of natural raw material and the high costs have motivated its replacement by other systems more robust, simple and inexpensive. Comparing with these clays, magnesium hydroxide nanoparticles, in general, present more reproducibility, less contamination by foreign elements and have been reported to have very positive effects as a flame-retardant agent. This work presents a critical comparison of various methods applied in the synthesis of these particles.*

Keywords: nanoparticles, magnesium hydroxide, brucite.