

Artigo

Síntese e Caracterização do Material Mesoporoso SBA-15 Obtido com Diferentes Condições de Síntese

Fernandes, F. R. D.;* Santos, A. G. D.; Souza, L. D.; dos Santos, A. P. B.

Rev. Virtual Quim., 2016, 8 (6), 1855-1864. Data de publicação na Web: 29 de dezembro de 2016

<http://rvq.sbq.org.br>

Synthesis and Characterization of Mesoporous Materials SBA-15 Obtained with Different Synthesis Conditions

Abstract: The mesoporous materials has received much attention due to their promising features in catalysis area, adsorption and ion exchange. Among these materials highlights the SBA -15 having a hexagonal structure, unidirectional, high thermal and hydrothermal stability and high average pore diameter. The synthesis of this material occurs in acidic medium using as organic P123 driver and TEOS as silica source. Despite using only an organic driver, other materials based on silica, such as KIT-6 using an alcohol such as codirecionador structure, reducing the aging time to 24 hours compared to SBA-15. This paper aims to synthesize the SBA-15 using Butanol ($C_4H_{10}O$) in the synthesis process in order to obtain a material in a shorter time and characterize it in order to evaluate the use of butanol synthesis through the materials obtained. Samples were synthesized according to Zhao et al. (1998) and using the modifications Butanol and characterized by XRD, TG / DTG, adsorption / desorption of nitrogen and SEM. The butanol synthesized material showed textural, structural and morphological characteristics similar to the standard sample, typical materials of SBA-15 type, even with a reduction of 24 hours of its synthesis. The materials synthesized with the use of alcohol, had thicker walls which gives the material a greater resistance. It was possible to shorten the synthesis of SBA-15 in 24 hours, yielding high quality materials, using Butanol during its synthesis.

Keywords: Synthesis; characterization; SBA-15; Butanol.

Resumo

Os materiais mesoporosos tem recebido muita atenção devido as suas características promissoras na área de catalise, adsorção e troca iônica. Dentre esses materiais se destaca o SBA -15 que possui uma estrutura hexagonal e unidirecional, grande estabilidade térmica e hidrotérmica e alto diâmetro médio de poros. A síntese desse material ocorre em meio ácido, utilizando o P123 como direcionador orgânico e o TEOS como fonte de sílica. Apesar de utilizar somente um direcionador orgânico, outros materiais a base de sílica, como o KIT-6, utilizam um álcool como codirecionador de estrutura, reduzindo o tempo de envelhecimento em até 24 horas em relação ao SBA-15. O presente trabalho tem como objetivo sintetizar o SBA-15 utilizando o Butanol ($C_4H_{10}O$) no processo de síntese, a fim de se obter um material em um menor tempo e caracterizá-lo com o intuito de avaliar a utilização do Butanol na síntese através dos materiais obtidos. As amostras foram sintetizadas conforme Zhao et al. (1998) e com modificações utilizando o Butanol e caracterizados por DRX, TG/DTG, adsorção/dessorção de nitrogênio e MEV. O material sintetizado com o butanol apresentou propriedades texturais, estruturais e morfológicas semelhantes à amostra padrão, típicas de materiais do tipo SBA-15, mesmo com a redução de 24 horas de sua síntese. Os materiais sintetizados com o uso do álcool, apresentaram paredes mais espessas o que confere a esse material uma maior resistência. Foi possível reduzir o tempo de síntese do SBA-15 em 24 horas, obtendo-se materiais de alta qualidade, utilizando o Butanol durante a sua síntese.

Palavras-chave: SBA-15; Síntese; Caracterização; Butanol.

* Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Departamento de Química, Campus Central, CEP 59625-620, Mossoró-RN, Brasil.

✉ fe.rodrigo@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20160125](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20160125)

Síntese e Caracterização do Material Mesoporoso SBA-15 Obtido com Diferentes Condições de Síntese

**Fernando Rodrigo D. Fernandes, Anne Gabriella D. Santos, Luiz Di Souza,
Adriana Paula B. dos Santos**

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Faculdade de Ciências Exatas e Naturais,
Departamento de Química, Campus Central, CEP 59625-620, Mossoró-RN, Brasil.

* fe.rodrigo@hotmail.com

Recebido em 25 de outubro de 2016. Aceito para publicação em 29 de dezembro de 2016

- 1. Introdução**
- 2. Materiais e Métodos**
 - 2.1. Sínteses dos Materiais**
 - 2.2. Caracterizações**
- 3. Resultados e Discussão**
 - 3.1. Análises Termogravimétricas (TG/DTG)**
 - 3.2. Difração de Raio-X (DRX)**
 - 3.3. Adsorção e Dessorção de N₂**
 - 3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**
- 4. Considerações Finais**

1. Introdução

A classe de materiais mesoporos têm se destacado e recebido muita atenção por apresentarem elevada área superficial, grande diâmetro médio de poros e consideráveis estabilidades térmica e hidrotérmica.^{1,2} Devido a essas características esses materiais têm sido bastante empregados, sendo relatados na literatura vários trabalhos em diversas áreas, tais como: catálise, adsorção, troca iônica, transporte de fármacos e fabricação de materiais funcionais avançados.³⁻⁶

O SBA- 15 é um material mesoporoso a

base de sílica, que foi desenvolvido e sintetizado pela primeira vez por Zhao et al. (1998) na Universidade da Califórnia – Santa Bárbara, EUA. Este material apresenta-se como um dos materiais mesoporosos mais investigados e empregados nos últimos tempos por apresentar uma estrutura mesoporosa unidirecional, elevado diâmetro médio de poros e grande estabilidade térmica e hidrotérmica.⁷⁻¹⁰ Os seus mesoporos, ordenados hexagonalmente e interligados por microporos, possibilitam o alojamento ou a difusão de grandes moléculas, o que confere a ele uma vasta aplicabilidade, se destacando-se na área de catálise e adsorção.¹¹⁻¹⁴

A síntese típica deste material ocorre em meio fortemente ácido, utilizando o copolímero tribloco Pluronic P123 (EO20PO70EO20) como o direcionador orgânico da estrutura e o tetraetilortosilicato (TEOS) como fonte de sílica. Na síntese do SBA-15 utiliza-se somente o P123 como direcionador da estrutura e o tempo destinado à síntese geralmente ultrapassa 48 horas,^{7,8} o que acarreta um considerável gasto, principalmente, pelo consumo de energia elétrica proveniente dos equipamentos utilizados no processo de síntese. Porém, outros tipos de materiais a base de sílica, como o KIT-6 que possui uma estrutura cúbica em 3D (mais complexa que a hexagonal em 2D característica do SBA-15) utiliza-se de um álcool, especificamente o Butanol (C₄H₁₀O), na síntese como um codirecionador e cosolvente, na qual esse álcool tem a função de influenciar o comportamento das micelas e ajudar na ordenação mais rápida da sua estrutura,^{15,16} diminuindo o tempo total de síntese em 24 horas, em comparação ao SBA-15.

Tendo em vista as características promissoras apresentadas por esse material e devido haver relatos na literatura sobre a funcionalidade do Butanol como codirecionador em materiais mesoporosos similares, o presente trabalho tem como objetivo sintetizar o SBA-15 utilizando o Butanol no processo de síntese, a fim de se obter um material em um menor tempo e caracterizar os materiais obtidos com o intuito de avaliar a utilização do Butanol na síntese do SBA-15.

2. Materiais e Métodos

2.1. Sínteses dos Materiais

A amostra denominada, SBA-15 Padrão, foi sintetizada pelo método hidrotérmico, proposto por Zhao et al. (1998), usando o copolímero tribloco P123 (EO20PO70EO20), ácido clorídrico 37%, água destilada e o tetraetilortosilicato (TEOS) como fonte de

sílica, seguindo a seguinte proporção molar: 1,000 TEOS; 0,015 P123; 2,750 HCl; 166,0 H₂O. O procedimento consistiu na dissolução do P123 em água e ácido clorídrico por 2 horas em uma temperatura que variou de 35 a 40 °C, logo após, adicionou-se a fonte de sílica TEOS e deixou a mistura sob agitação a mesma temperatura por 24 horas. Em seguida colocou-se o gel de síntese em uma autoclave de teflon revestida de aço inoxidável e colocou-se na estufa por 48 horas a 100 °C. Após esse tempo o material foi resfriado a temperatura ambiente, filtrado a vácuo e lavado com uma solução de etanol/HCl a 2 %. Posteriormente o material foi calcinado a 550 °C por 6 horas para a remoção do direcionador orgânico.

Na amostra de SBA-15 com modificações, nomeada de SBA-15 (B), utilizou-se o butanol como co-direcionador e realizou-se a síntese seguindo a seguinte proporção molar: 1,000 TEOS; 0,017 P123; 1,83 HCl; 195 H₂O; 1,31 Butanol. O restante do procedimento foi igual ao descrito para a amostra padrão, modificando apenas o tempo do gel de síntese na estufa, de 48 horas, para 24 horas.

2.2. Caracterizações

Todas as amostras não calcinadas foram analisadas por termogravimetria (TG/DTG), com o objetivo de escolher a temperatura correta de calcinação. As curvas termogravimétricas foram realizadas em uma termobalança a STA 449F3- Júpiter. Nas análises foram utilizadas aproximadamente 5 mg de material em cadinho de porcelana, sendo as amostras submetidas a aquecimento de uma temperatura de 25 a 900 °C, com uma razão de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio com fluxo de 25 mL.min⁻¹.

Para verificar se a estrutura típica de materiais do tipo SBA-15 foi obtida, utilizou-se a técnica de difração de raios-X. Foi empregado o método do pó, sendo a amostra previamente pesada para então ser analisada. O equipamento utilizado foi um

Rigaku modelo Mini Flex II utilizando radiações de $\text{CuK}\alpha$, em uma voltagem de 30 k/V e corrente de tubo de 30 mA. A abertura da fenda foi de $0,15^\circ$ com passo de $0,005^\circ$ e tempo de 0,4 s, sendo os dados coletados em baixo ângulo numa faixa de 2θ de $0,5$ a 3° .

Utilizou-se a técnica de adsorção e dessorção de nitrogênio (N_2) para obter informações importantes sobre as propriedades texturais dos materiais sintetizados. As isotermas de nitrogênio de todos os materiais estudados foram realizadas em um equipamento Micromeritics ASAP 2020. As amostras foram previamente desgaseificadas, inicialmente com fluxo de nitrogênio a 90°C por 30 min e depois no mesmo fluxo na temperatura de 200°C por 8 horas. Após a desgaseificação foram submetidas à adsorção de nitrogênio a 77 K.

As amostras de SBA-15 foram caracterizadas através da análise de MEV (microscopia eletrônica de varredura). As

imagens foram obtidas com o objetivo de observar morfologicamente a estrutura dos materiais sintetizados e a forma das partículas. Para esse fim, foi utilizado o equipamento da Shimadzu modelo MIRA3.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análises Termogravimétricas (TG/DTG)

A Figura 1 e a Tabela 1 mostram os dados obtidos a partir das análises termogravimétricas realizadas nas amostras padrão e SBA-15 (B) não calcinadas. Essa técnica foi realizada com o intuito de encontrar as condições ideais para a calcinação dos materiais, de forma que todo direcionador fosse removido da estrutura do material.

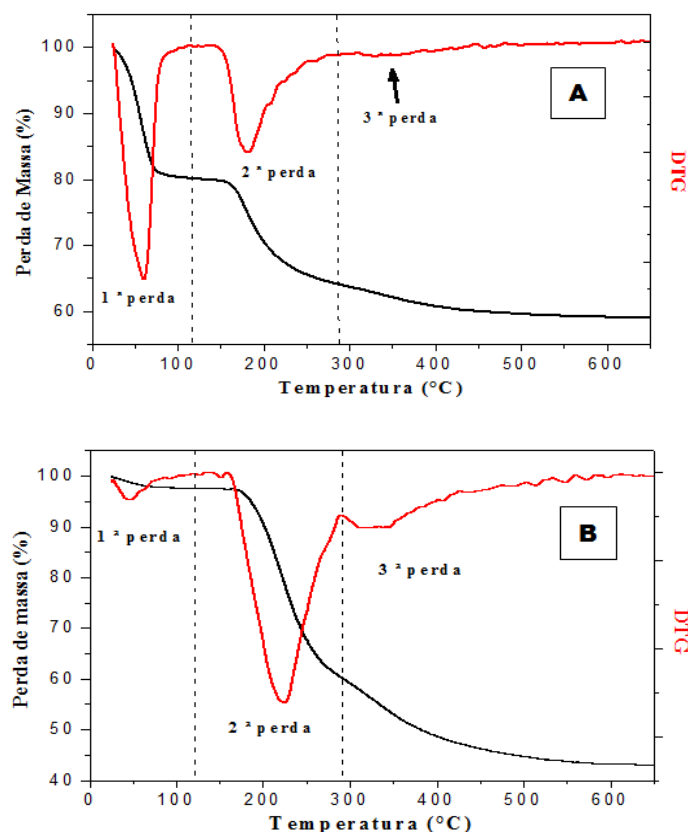


Figura 1. Curvas termogravimétricas das amostras a) SBA-15 e b) SBA-15 (B)

Tabela 1. Dados Termogravimétricos das amostras de SBA-15 e SBA-15 (B)

Amostras	Faixa de Temperatura (°C)			Perda de Massa (%)		
	I	II	III	I	II	III
SBQ-15	25-123	123-288	288-550	19,4	15,9	4,1
SBA-15 (B)	25-120	120-291	291-550	2,5	37,4	16,8

Pode-se observar na Figura 1, que as curvas tanto para a amostra de SBA-15 padrão quanto para a SBA-15 (B) apresentaram três faixas de temperatura onde ocorrem perdas de massa. As três perdas correspondem a saída de água fisissorvida do material, a decomposição do direcionador orgânico e a condensação de grupos silanóis restantes, respectivamente.¹⁷

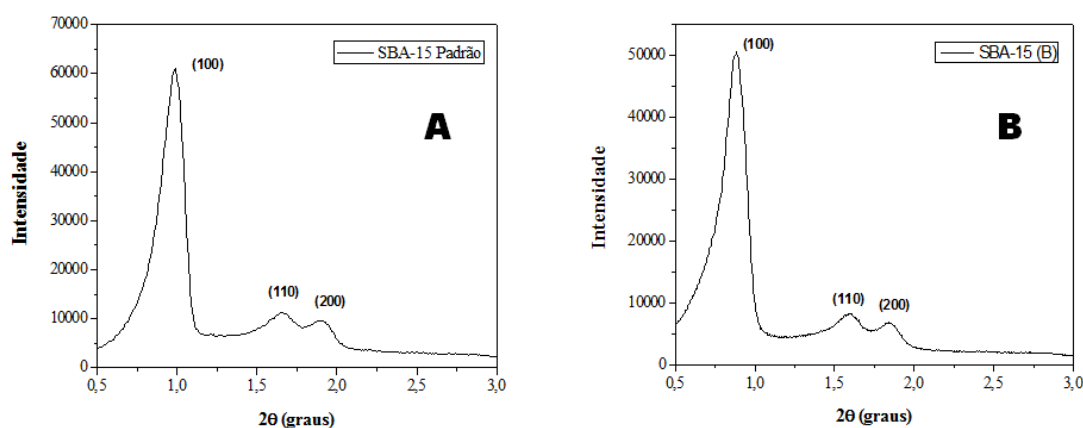
Pode-se observar que as perdas ocorreram em faixas de temperatura semelhantes, o que demonstra que a modificação realizada na síntese padrão não alterou a temperatura de saída do direcionador orgânico. Entretanto, percebe-se uma diferença na análise termogravimétrica e a mesma pode ser vista com maior clareza na Tabela 1, onde a amostra SBA-15 (B) apresentou a segunda e a terceira perda de massa consideravelmente superior à perda observada na amostra padrão. Essa diferença está relacionada com a formação e posterior condensação de grupos silanóis (Si-OH) presentes na amostra. A amostra sintetizada com um menor tempo

de tratamento hidrotérmico apresentou, com base na TG, uma quantidade maior de grupos silanóis presentes em seja na sua superfície ou nos poros, essa característica pode ser vantajosa em aplicações que se possam utilizar de interações com os grupos OH.

Outra informação importante obtida através da TG/DTG é a temperatura de calcinação dos materiais. Com base nas faixas de perdas de massa pode-se observar que após a temperatura de 550 °C, já não ocorre nenhuma perda de massa nas duas amostras, determinando-se assim essa a temperatura de calcinação ideal para materiais.

3.2. Difração de Raio-X (DRX)

Na Figura 2, pode-se observar os difratogramas de raios-X, em baixo ângulo de 0,5 a 3° para as amostras SBA-15 Padrão e SBA-15 (B), ambas calcinadas.

**Figura 2.** DRX das amostras a) SBA- 15 padrão e b) SBA-15 (B)

Pode-se observar que as duas amostras apresentaram três reflexões referentes aos planos de difração (100), (110) e (200), característicos da estrutura mesoporosa bidimensional com simetria P6mm, que representam a estrutura hexagonal de materiais do tipo SBA-15 bem ordenados.^{7,8,18} Indicando que o método utilizado, com a utilização do álcool e a redução de 24 horas na síntese padrão, não destruiu e nem deformou as características estruturais do SBA-15, apresentando intensidades altas e semelhantes entre os materiais, para a primeira reflexão (100), o que é um indicativo de uma boa organização estrutural.

A principal diferença encontrada em termos estruturais nos materiais foi o valor encontrado para o parâmetro mesoporoso (a_0), onde os seus valores podem ser vistos na Tabela 2. Esse parâmetro demonstra

basicamente a distância entre um centro de um poro a outro, na organização hexagonal, e essa diferença encontrada nesse parâmetro pode estar relacionada com a presença do butanol no mecanismo de síntese. O butanol adicionado antes da fonte de sílica, no processo de síntese, se liga aos bastões micelares previamente formados, através de pontes de hidrogênio, causando impedimentos estéricos (Figura 3), sendo assim, ao se adicionar a fonte de sílica para a formação da estrutura inorgânica, as moléculas de Butanol promovem um afastamento entre esses bastões micelares (futuros poros), o que explica a diferença no parâmetro mesoporo e também a diferença na espessura da parede dos materiais, corroborando com os resultados obtidos na técnica de adsorção e dessorção de N_2 .

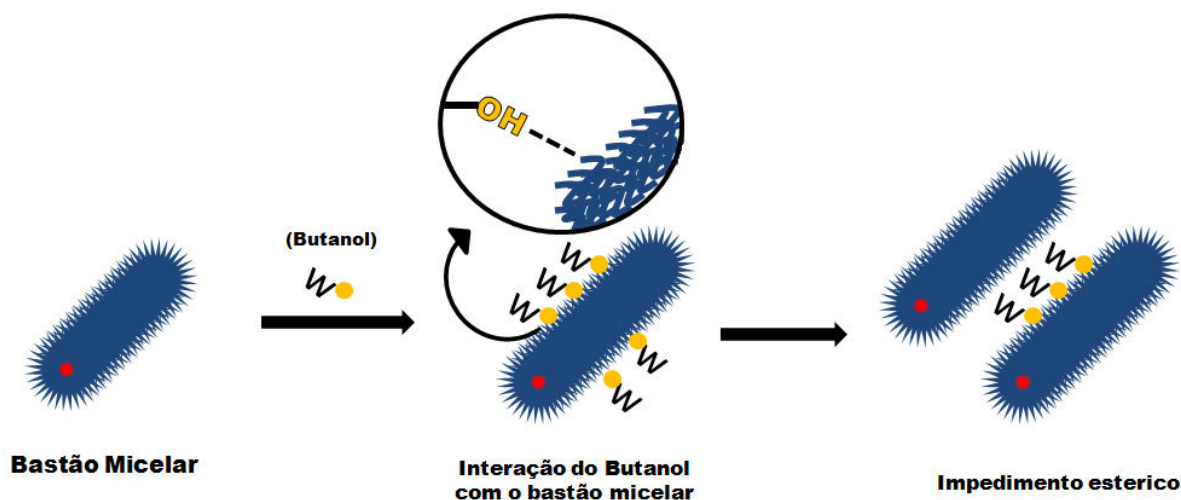


Figura 3. Interação do Butanol com os bastões micelares no mecanismo de síntese do SBA-15 (B)

3.3. Adsorção e Dessorção de N_2

A Figura 3 apresenta as isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio bem como

a distribuição dos diâmetros de poro e a Tabela 2 apresenta as propriedades texturais para as amostras de SBA-15 Padrão e SBA-15 (B).

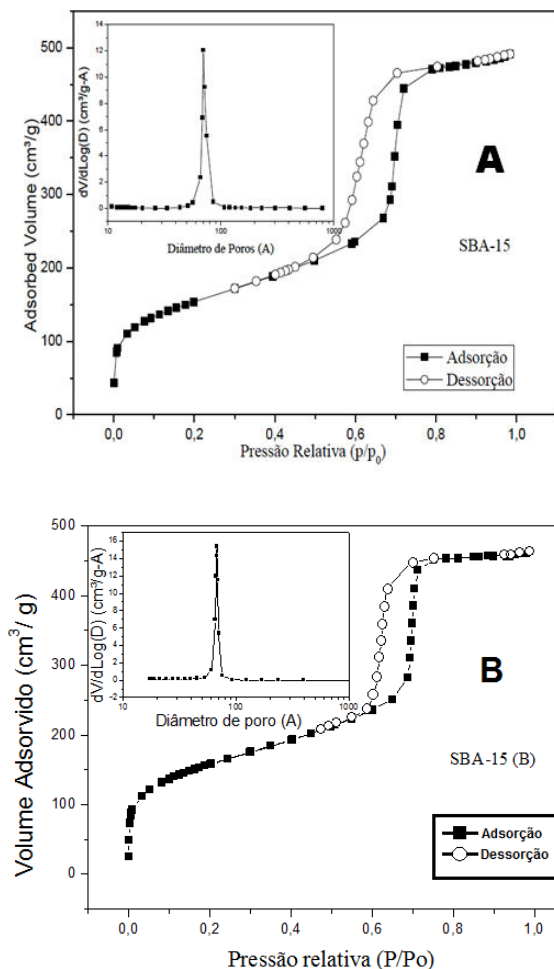


Figura 4. Isothermas de adsorção/dessorção de N₂ referentes às amostras: a) SBA-15 Padrão e b) SBA-15 (B)

Tabela 2. Dados das propriedades texturais das amostras SBA- 15 Padrão e SBA- 15 (B)

Materiais Mesoporos	Dp (nm)	Vp (cm ³ .g ⁻¹)	V _{Micro} (cm ³ .g ⁻¹)	S _{BET} (m ² .g ⁻¹)	S _{Micro} (m ² .g ⁻¹)	a ₀ (nm)	w (nm)
SBQ-15	6,19	0,75	0,098	705	148,3	10,50	4,31
SBA-15 (B)	6,50	0,76	0,088	566	110,3	11,58	5,08

$$w = a_0 - Dp$$

Os resultados de adsorção/dessorção mostraram que as amostras apresentaram isothermas do tipo IV com loop de histerese H1 em uma pressão entre 0,6 – 0,76 que é típico para materiais mesoporosos altamente organizados e com sistema de poros cilíndricos e com tamanho de poro uniforme, referentes a esse tipo de material,¹⁹⁻²¹ o que corrobora com os resultados de DRX.

Pode-se observar que apesar da redução do tempo de envelhecimento em 24 horas, a amostra apresentou propriedades texturais, como diâmetro e volume de poros, semelhante a padrão, apresentando apenas uma redução, na área específica, onde essa redução pode ser explicada pela diferença encontrada na espessura das paredes dos materiais. Assim como foi discutido nos

resultados de DRX, o butanol promove uma maior distância entre os bastões micelares e após a adição do TEOS, uma quantidade maior de sílica pode ter sido direcionada na formação das paredes do SBA-15 (B), o que gerou uma redução da área específica e uma maior espessura da sua parede, sendo

considerado um bom resultado, pois, paredes mais espessas promovem uma maior resistência térmica e mecânica ao material, o que é uma característica bastante interessante para aplicações na área de catálise.

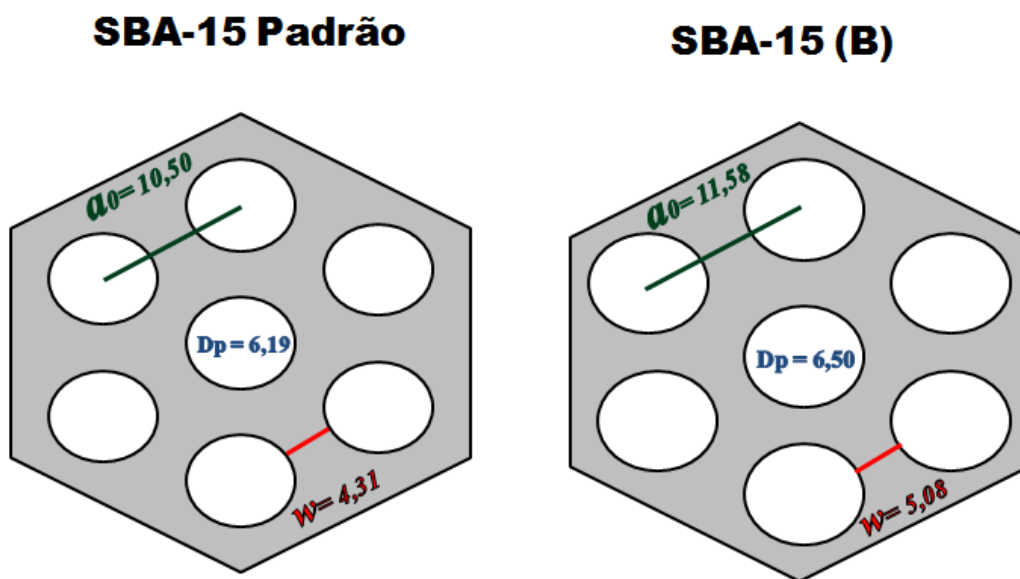


Figura 5. Principais diferenças nas propriedades texturais entre os materiais sintetizados

3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 6 mostra as imagens de MEV para as amostras de SBA-15 padrão e SBA-15 (B) respectivamente.

Pode-se observar com base nas imagens, que tanto a amostra padrão quanto a amostra com modificações, apresentaram partículas com tamanhos em escala micrométrica, não uniformes e com um formato alongado, semelhantes a bastonetes, na qual essas partículas se

aglomeram de tal forma que o seu aspecto se assemelha a “colares de contas entrelaçados”, onde essas estruturas condizem com as encontradas na literatura,²²⁻²⁴ indicando que essa fase provavelmente correspondente a SBA-15. Pode-se observar que mesmo com as modificações na síntese o material sintetizado apresentou morfologia semelhante ao padrão, tal resultado corrobora com os resultados encontrados na técnica de Adsorção e Dessorção de N_2 e DRX, demonstrando que o Butanol, no processo de síntese adotado, não interfere na morfologia do material obtido.

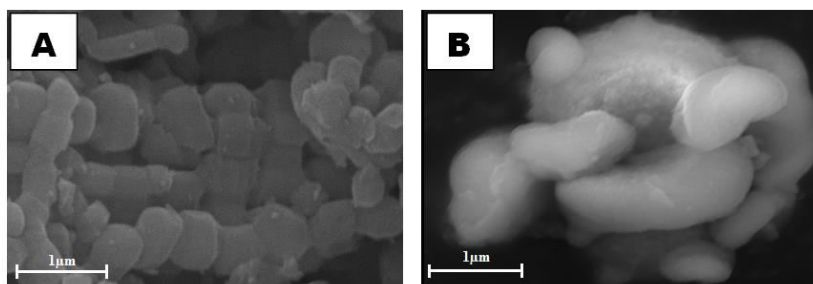


Figura 6. Imagens de MEV das amostras a) SBA-15 padrão e b) SBA-15

4. Considerações Finais

É possível diminuir o tempo de síntese do SBA-15 em 24 horas utilizando o Butanol no procedimento de síntese. O Butanol, possivelmente, modifica o mecanismo de síntese do SBA-15 se ligando aos bastões micelares, através de pontes de hidrogênio, aumentando a distância entre eles, dando origem a um material com paredes mais espessas e conseqüentemente, mais resistentes. O uso do Butanol proporcionou a grande redução de 24 horas no processo de síntese, representando um resultado muito importante do ponto de vista ambiental (diminuição da energia elétrica durante o processo) e industrial (tempo de obtenção desses materiais), sem alterar de forma negativa as propriedades texturais, estruturais e morfológicas do SBA-15.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela ajuda financeira, ao laboratório de catálise, ambiente e materiais (LACAM) e ao laboratório de análises magnéticas e ópticas (LAMOP) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), pelas análises realizadas.

Referências Bibliográficas

- ¹ Tanga, T.; Zhao, Y.; Xu, Y.; Wu, D.; Xu, J.; Deng, F. Functionalized SBA-15 materials for bilirubin adsorption. *Applied Surface Science* **2011**, *257*, 6004. [CrossRef]
- ² Selvakannan, P. R.; Mantri, K.; Tardio, J.; Bhargava, S. K. High surface area Au–SBA-15 and Au–MCM-41 materials synthesis: Tryptophan amino acid mediated confinement of gold nanostructures within the mesoporous silica pore walls. *Journal of Colloid and Interface Science* **2013**, *394*, 475. [CrossRef] [PubMed]
- ³ Shukla, P.; Sun, H.; Wang, S.; Ang, H. M.; Tadé, M. O. Co-SBA-15 for heterogeneous oxidation of phenol with sulfate radical for wastewater treatment. *Catalysis Today* **2011**, *175*, 380. [CrossRef]
- ⁴ Yan, X.; Komarneni, S.; Yan, Z. CO₂ adsorption on Santa Barbara Amorphous-15 (SBA-15) and amine-modified Santa Barbara Amorphous-15 (SBA-15) with and without controlled microporosity. *Journal of Colloid and Interface Science* **2013**, *390*, 217. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵ Ochoa-Hernández, C.; Yanga, Y.; Pizarro, P.; O’Shea, V. A. P.; Coronado, J. M.; Serrano, D. P. Hydrocarbons production through hydrotreating of methyl esters over Ni and Co supported on SBA-15 and Al-SBA-15. *Catalysis Today* **2013**, *210*, 81. [CrossRef]
- ⁶ Carraro, P.; Elías, V.; Blanco, A. A. G.; Sapag, K.; Eimer, G.; Oliva, M. Study of hydrogen adsorption properties on MCM-41 mesoporous materials modified with nickel. *International Journal of Hydrogen Energy* **2014**, *39*, 8749. [CrossRef]
- ⁷ Zhao, D.; Feng, J.; Hou, Q.; Melosh, N.; Fredrickson, G. H.; Chmelka, B. F.; Stucky, G. D., Triblock Copolymer Syntheses of

- Mesoporous Silica with Periodic 50 to 300 Angstrom Pores. *Science* **1998**, *279*, 548. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ⁸ Zhao, D.; Huo, Q.; Feng, J.; Chmelka, B. F.; Stucky, G. D. Nonionic Triblock and Star Diblock Copolymer and Oligomeric Surfactant Syntheses of Highly Ordered, Hydrothermally Stable, Mesoporous Silica Structures. *Journal of the American Chemical Society* **1998**, *120*, 6024. [[CrossRef](#)]
- ⁹ Bui, T. X.; Pham, V. H.; Le, S. T.; Choi, H. Adsorption of pharmaceuticals onto trimethylsilylated mesoporous SBA-15. *Journal of Hazardous Materials* **2013**, *254-255*, 345. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁰ Jin, M.; Kimb, J. H.; Kim, J. M.; Jeon, J.-K.; Jung, J.; Bae, G.-N.; Park Y.-K. Benzene oxidation with ozone over MnO_x/SBA-15 catalysts. *Catalysis Today* **2013**, *204*, 108. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Li, D.; Chen, G.; Wang, C. Incorporation of lanthanum into SBA-15 and its catalytic activity in trichloroethylene combustion. *Journal of Rare Earth* **2008**, *26*, 717. [[CrossRef](#)]
- ¹² Hiyoshi, N.; Yogo, K.; Yashima, T. Adsorption characteristics of carbon dioxide on organically functionalized SBA-15. *Microporous and Mesoporous Materials* **2005**, *84*, 357. [[CrossRef](#)]
- ¹³ Huirache-Acuña, R.; Nava, R.; Peza-Ledesma, C. L.; Lara-Romero, J.; Alonso-Núñez, G.; Pawelec, B.; Rivera-Muñoz, E. M. Sba-15 Mesoporous Silica as Catalytic Support for Hydrodesulfurization Catalysts-Review. *Materials* **2013**, *6*, 4139. [[CrossRef](#)]
- ¹⁴ Mesa, M.; Sierra, L.; Guth, J.-L. Contribution to the study of the formation mechanism of mesoporous SBA-15 and SBA-16 type silica particles in aqueous acid solutions. *Microporous and Mesoporous Materials* **2008**, *112*, 338. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Wang, W.-Q.; Wang, J.-G.; Sun, P.-C.; Ding, D.-T.; Chen, T.-H. Effect of alcohol on morphology and mesostructure control of anionic-surfactant-templated mesoporous silica (AMS). *Journal of Colloid and Interface Science* **2009**, *331*, 156. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁶ Kleitz, F.; Choi, S. H.; Ryoo, R. Cubic *la3d* large mesoporous silica: synthesis and replication to platinum nanowires, carbon nanorods and carbon nanotubes. *Chemical Communications* **2003**, *17*, 2136. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁷ Xiao, L.; Li, J.; Jin H.; Xu, R. Removal of organic templates from mesoporous SBA-15 at room temperature using UV/dilute H₂O₂. *Microporous and Mesoporous Materials* **2006**, *96*, 413. [[CrossRef](#)]
- ¹⁸ Jing, Y.; Wei, L.; Wang, Y.; Yu, Y. Synthesis, characterization and CO₂ capture of mesoporous SBA-15 adsorbents functionalized with melamine-based and acrylate-based amine dendrimers. *Microporous and Mesoporous Materials* **2014**, *183*, 124. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Choma, J.; Jaroniec, M. Applicability of classical methods of pore size analysis for MCM-41 and SBA-15 silicas. *Applied Surface Science* **2007**, *253*, 5587. [[CrossRef](#)]
- ²⁰ Hussain, M.; Fino, D.; Russo, N. Development of modified KIT-6 and SBA-15-spherical supported Rh catalysts for N₂O abatement: From powder to monolith supported catalysts. *Chemical Engineering Journal* **2014**, *238*, 198. [[CrossRef](#)]
- ²¹ Bernardoni, F.; Fadeev, A. Y. Adsorption and wetting characterization of hydrophobic SBA-15 silicas. *Journal of Colloid and Interface Science* **2011**, *356*, 690. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²² Katiyar, A.; Ji, L.; Smirniotis, P.; Pinto, N. G. Protein adsorption on the mesoporous molecular sieve silicate SBA-15: effects of pH and pore size. *Journal of Chromatography A* **2005**, *1069*, 119. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²³ Fernandes, F. R. D.; Santos, A. G. D.; Souza, L. D.; Soares, J. M.; dos Santos, A. P. B.; de Araujo, A. S.; Torres, P. J. M. Síntese e caracterização do SBA-15 suportado com Nb₂O₅. *Química: Ciência, Tecnologia e Sociedade* **2012**, *1*, 30. [[Link](#)]
- ²⁴ Benamor, T.; Vidal, L.; Lebeau, B.; Marichal, C. Influence of synthesis parameters on the physico-chemical characteristics of SBA-15 type ordered mesoporous silica. *Microporous and Mesoporous Materials* **2012**, *153*, 100. [[CrossRef](#)]