

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE PENEIRAS MOLECULARES DO TIPO MCM-41 PARA ADSORÇÃO DE CO₂

Juliana Soares de Sousa¹; Genaro Zenaide Clericuzi²; Humberto da Fonseca Silva³

¹ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – juliana_engquimica@hotmail.com

² Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – clericuzi.zc@gmail.com

³ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química – hmfonseca@yahoo.com

RESUMO

O dióxido de carbono contabiliza 90% dos gases de efeito estufa emitidos pelo Brasil. As emissões associadas ao petróleo e gás natural incluem as fugas de CO₂ durante a cadeia produtiva, produtos da etapa de refino, e principalmente da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, sendo ela responsável por 90% das emissões somente em uma refinaria. Os materiais mesoporosos se tornaram muito atraentes no meio científico devido as suas características facilitadoras de captura de CO₂. Tendo isto em vista, foi utilizado o material mesoporoso MCM-41 como suporte para a adsorção de CO₂. Esse material foi sintetizado utilizando-se tratamento hidrotérmico por 48h, calcinado e caracterizado. A sua caracterização envolveu análises de DRX, FT-IR, TG/DTG e BET. Os resultados do DRX e FT-IR indicaram os picos e bandas características do MCM-41 calcinado, confirmando a obtenção do material desejado. O BET apontou área superficial de 851,23 m²/g, diâmetro de poro de 3,9 nm e volume de poro de 0,923 cm³/g. Para medir a capacidade de adsorção do CO₂, utilizou-se um microadsorvedor acoplado à uma suspensão magnética para gerar isotermas experimentais de adsorção. Como resultado, obteve-se uma isoterma que reflete o modelo de Langmuir com alto índice de correlação e capacidade adsorptiva máxima de 11,99 mmol/g, mostrando que o MCM-41 é um material promissor para a captura de CO₂.

Palavras chave: Captura de CO₂, MCM-41, materiais mesoporosos.

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional, evidenciado nas últimas décadas, promoveu um aumento do padrão de vida e de consumo do ser humano. Para atendimento da crescente demanda de energia e produtos, o modelo de planejamento mundial adotou estratégias orientadas exclusivamente para o “suprimento”, com a implantação de diversos projetos, dentre eles, a ampliação das refinarias de petróleo e dos complexos

industriais petroquímicos [REIS, FADIGAS E CARVALHO, 2012]. Entretanto, esse novo cenário vem colaborando para um aumento progressivo das emissões de gases nocivos à atmosfera. Pesquisas em países subdesenvolvidos apontam que a concentração de gases liberados na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorcarbonos (CFC's), oriundos dos diversos segmentos da indústria petrolífera, já ultrapassaram os limites da capacidade de

assimilação da natureza. [PHILIPPI JR, ROMÉRO E BRUNA, 2013].

Dentre os gases poluentes citados anteriormente, o CO₂ liberado para a atmosfera destaca-se como um dos problemas ambientais mais preocupantes do nosso país, em virtude das diversas unidades de captação e refino de petróleo operando em nossa região. Apesar do Brasil emitir menos gases poluentes comparado a maioria dos outros países, o dióxido de carbono contabiliza 90% dos gases de efeito estufa emitidos pelo país [CHEN *et al.*, 2013].

A indústria do petróleo é um setor considerado como um grande emissor de CO₂. As emissões associadas ao petróleo e gás natural incluem as fugas associadas à sua cadeia produtiva desde a exploração, passando pelo transporte e refino.

Nas refinarias, vários processos geram CO₂ como subproduto. É o caso do craqueamento do butano, produção de H₂ e o craqueamento catalítico fluido (FCC). Só o FCC, contabiliza cerca de 1/3 das emissões totais em um refinaria [PETROBRAS, 2010]. Entretanto, a principal parcela de emissão de CO₂ ainda ocorre devido à queima de combustíveis fósseis (como o gás natural), utilizada para a geração de energia dentro das unidades de exploração e refino, somando 90% das emissões de CO₂ no caso das refinarias [ELKAMEL *et al.*, 2008].

Além disso, a própria composição do gás natural, pode-se configurar em um desafio para ser explorado. Um exemplo inclui os campos do pré-sal, cujo teor de CO₂ pode chegar a 12%, muito superior à média nacional de 4% [MME, 2009].

A metodologia mais largamente empregada pela indústria petroquímica para a remoção de CO₂ se dá pela absorção desse gás em soluções de N-metil-dietanolamina [FARIAS, 2008]. Embora apresente elevado índice de remoção de CO₂, facilidade de remoção e baixa absorção de hidrocarbonetos, a velocidade de reação é muito pequena, fazendo com que os processos cinéticos se tornem bastante limitados [RINKER, ASHOUR E SANDALL, 2000].

Desse modo, o desenvolvimento de métodos efetivos para captura e sequestro de CO₂ de efluentes pós-combustão é de extrema importância, pois possibilita o uso de combustíveis fósseis com menor dano ao meio ambiente enquanto fontes alternativas são desenvolvidas e gradualmente implementadas.

Neste cenário, os materiais mesoporosos e suas características facilitadoras de captura de CO₂ os tornaram muito atraentes no meio científico. Segundo Casco *et al.*, [2014], para que um adsorvente seja industrialmente atrativo, ele deve

combinar alta capacidade de adsorção, alta seletividade para o CO₂ e fácil regeneração.

No caso o MCM-41 é um derivado de zeólita dentro da mesoporosidade. Ele possui alta área específica (700-1000 m²/g), poros de tamanho manipulável, e elevada capacidade de troca iônica, que permite a funcionalização de sua superfície [SILVA, 2009]. Ainda, ela pode ser funcionalizada com outras substâncias, como aminas, com o objetivo de aumentar o seu nível de captura [SONG, 2006].

O presente projeto teve como objetivo a sintetização de adsorventes do tipo MCM-41, sua caracterização e uso para a captura de CO₂.

2. METODOLOGIA

2.1. Síntese do adsorvente MCM-41

2.1.1. Síntese hidrotérmica

A síntese da MCM-41 foi feita a partir da adaptação do método de síntese hidrotérmica realizado por CHENG et al., [1997].

Para a síntese hidrotérmica, foi preparada uma solução aquosa de TMAOH (Sigma Aldrich, 97%) e CTMABr (Vetec, 98%) à 50°C sob constante agitação. Após obter uma solução límpida, esta foi resfriada à

temperatura ambiente, e a fonte de sílica (Aerosil 380) foi adicionada. Esta nova solução foi agitada por duas horas à temperatura ambiente e envelhecida por 24h. A composição molar do gel calculada foi de 0,21CTMABr: 1,0SiO₂:0,19TMAOH:40H₂O.

O gel foi adicionado a um recipiente de teflon com tampa, cujo mesmo foi colocado em uma autoclave de aço inox com tampa rosqueável e levado à estufa por 48h à 150°C sob pressão autógena e circulação de ar. Ao término da síntese, o sólido foi removido para um funil de filtração à vácuo, sendo lavado com água destilada a 70°C. Por fim, o material filtrado foi colocado em estufa para secagem à 100°C por 2h.

2.1.2. Calcinação

Materiais orgânicos ainda presentes nos poros foram degradados e eliminados através do processo de calcinação. Para obtenção de tal resultado, foi seguida a metodologia proposta por Cheng et al., [1997], onde as amostras foram calcinadas em mufla à 550 °C por 8h.

2.2. Métodos de caracterização utilizados

2.2.1. Difractometria de Raios-X

Para a análise e avaliação das propriedades de estrutura do suporte foram realizadas difratometrias de raios X com um difratômetro da Bruker, modelo D8 Advance Davinci em uma varredura angular de 1 a 10°. Utilizou-se radiação de $\text{CuK}\alpha$ e filtro de níquel com voltagem de 40kV e corrente de 40mA. O feixe de raios X foi defasado em relação à amostra em uma velocidade de 0,5 min⁻¹ e passo de 0,02°.

2.2.2. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

Os espectros de absorção das amostras calcinadas e não calcinadas foram obtidos na região do infravermelho médio entre 500-4000 cm⁻¹. O equipamento utilizado foi do modelo Vertex 70 da Bruker, sendo o KBr o meio dispersante.

2.2.3. Análise térmica

Os ensaios termogravimétricos do suporte sintetizado foram realizados pelo Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), em uma faixa de 30-900°C, taxa de aquecimento de 5°C/min e atmosfera de N₂. O equipamento utilizado foi uma termobalança modelo Netzsch STA 449F3.

2.2.4. Fisissorção de N₂ à 77K

A caracterização textural do MCM-41 foi realizada à 77K pelo CETENE, na faixa de

pressão relativa de 0,05-0,95. As isotermas de adsorção e dessorção de nitrogênio foram utilizadas para determinar a área superficial do suporte, volume do poro, diâmetro do poro e espessura da parede, assim como a distribuição do tamanho do poro.

2.3. Ensaio de adsorção de CO₂

Para determinação da capacidade de adsorção de CO₂ do adsorvente, utilizou-se um microadsorvedor acoplado à uma suspensão magnética, da marca Rubotherm, para gerar isotermas experimentais de adsorção.

Foi utilizado 1g de MCM-41 calcinado no ensaio, que foi ativado à 120 °C com fluxo gasoso de gás hélio a fim de retirar as moléculas fisissorvidas e impurezas. Após estabilização da massa, o sistema foi resfriado até a temperatura ambiente e mantido sob vácuo. A medição da massa adsorvida foi executada numa faixa de pressão de 1-30 bar à 25°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterizações

O material mesoporoso sintetizado foi caracterizado por diversas análises físico-químicas com o propósito de obter maiores informações sobre a sua estrutura e superfície.

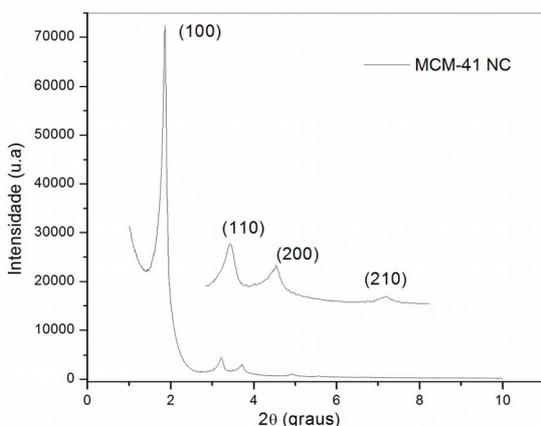
3.1.1. DRX

As Figuras 1 e 2 são difratogramas das amostras de MCM-41 como sintetizado e calcinado. A presença do pico de difração centrado em 1,8 ou 1,9 indica a formação de material mesoporoso, porém de forma desordenada. Para que o MCM-41 tenha alto grau de organização e de qualidade dos canais mesoporosos é necessário que se formem quatro picos. Em ambas as amostras os quatro picos característicos do MCM-41 referentes aos planos (100), (110), (200) e (210) estão presentes, sugerindo a formação da fase hexagonal com alta organização dos canais mesoporosos [BARBOSA, 2009].

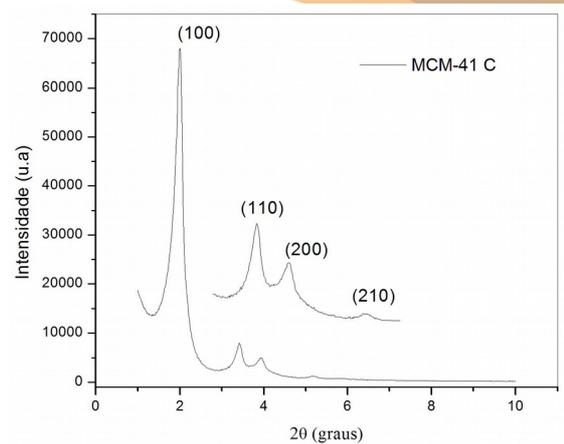
Figura 1: Difratograma de raios X da amostra de MCM-41 não calcinado.

Figura 2: Difratograma de raios X da amostra de MCM-41 calcinado.

Com base nos difratogramas de raios X observamos que as resoluções dos picos de



difração em ambas as amostras são similares. Houve um deslocamento do ângulo 2θ



referente ao pico de reflexão do plano (100) de 1,858 para 1,987 na amostra calcinada. Este deslocamento influencia diretamente no diâmetro do poro, analisada pelo BET, diminuindo-o. O valor do parâmetro de rede na amostra calcinada foi menor, o que pode estar relacionado à condensação dos grupos silanóis e à contração da rede de sílica.

Também observamos que a intensidade do pico de reflexão do plano (100) foi menor na amostra calcinada, mas que a intensidade dos picos de um modo geral aumentou. Isso já era esperado, pois a liberação dos canais porosos através da calcinação resulta em maior contraste de densidade eletrônica, resultando em maior reflexão dos raios X. Este resultado implica em um maior ordenamento estrutural do material.

A Tabela 1 exibe os parâmetros estruturais das amostras:

Tabela 1: Principais parâmetros do arranjo hexagonal mesoporoso do MCM-41.

3.1.2. Infravermelho

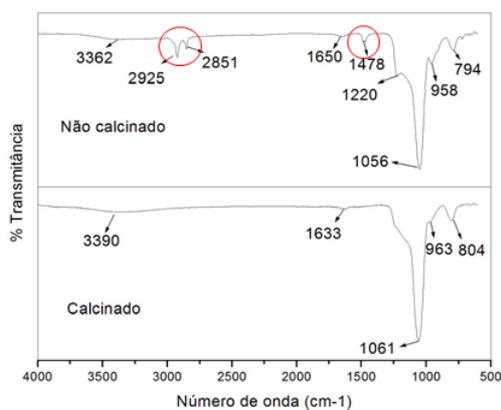
A fim de verificar a eliminação completa do direcionador orgânico CTMa+ contido nos poros da peneira sintetizada, foram realizados testes espectrocópicos de

Amostra	Índice (hkl)	2θ (graus)	d_{hkl} (nm)	d_{100} (nm)	d_{001} (nm)
MCM-41 NC	100	1,858	4,751	5,486	0,352
MCM-41 C	100	1,987	4,446	5,134	

infravermelho antes e após a calcinação. Esta verificação ocorre através do desaparecimento das frequências vibracionais típicas dos grupos do direcionador.

Na Figura 3 encontram-se os espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR):

Figura 3: Espectro de infravermelho para MCM-41 não calcinado e calcinado.



Foi verificado que na amostra não calcinada estão presentes duas bandas em

2925 e 2851 cm^{-1} referentes aos estiramentos das ligações C-H (CH_2 e CH_3) presentes no surfactante. Encontramos também uma banda de deformação dessas ligações em 1478 cm^{-1} . Em 3362 cm^{-1} é possível encontrar a banda sutil referente as hidroxilas presentes na água adsorvida e grupos silanóis na superfície. O fato desta banda se apresentar de maneira sutil está ligada ao modo de armazenamento do material, conservando-o da umidade do ambiente.

Às moléculas de água, acompanha-se uma banda em 1650 cm^{-1} em relação à vibração de deformação. Já as bandas de absorção em 1056 e 1220 cm^{-1} se referem à vibração de estiramento assimétrico do grupo Si-O-Si. Percebe-se que a banda em 1220 cm^{-1} fica menos resolvida quando os materiais são calcinados devido ao deslocamento da banda de 1056 cm^{-1} em direção de maiores números de onda (neste caso para 1061 cm^{-1}). Em 958 cm^{-1} encontramos vibrações do grupo Si-OH e em 650-795 cm^{-1} picos de absorção de sílica livre.

A amostra calcinada deve apresentar as mesmas características da não calcinada, exceto pelas bandas dos grupos orgânicos. Logo, a eliminação do direcionador orgânico CTMABr foi confirmada.

Os valores das principais frequências vibracionais e suas atribuições para o MCM-41 na forma não calcinada estão compilados na Tabela 2:

Tabela 2: Resumo das bandas presentes na amostra de MCM-41 na forma não calcinada.

3.1.3. Adsorção e dessorção de N₂

Segundo a IUPAC [1985], os materiais mesoporosos apresentam isotermas de fisissorção do tipo IV, devido ao tamanho de

Número de onda (cm ⁻¹)	Banda de estiramento
2925; 2851	Estiramento das ligações C-H do surfactante
3362	Água adsorvida e grupos silanóis na superfície
1650	Vibração de deformação da água adsorvida
1478	Vibração de estiramento das ligações C-H
1220; 1056	Estiramento assimétrico do grupo Si-O-Si
958	Vibração do grupo Si-OH
794	Vibração de deformação do grupo Si-O-Si
794	Sílica Livre

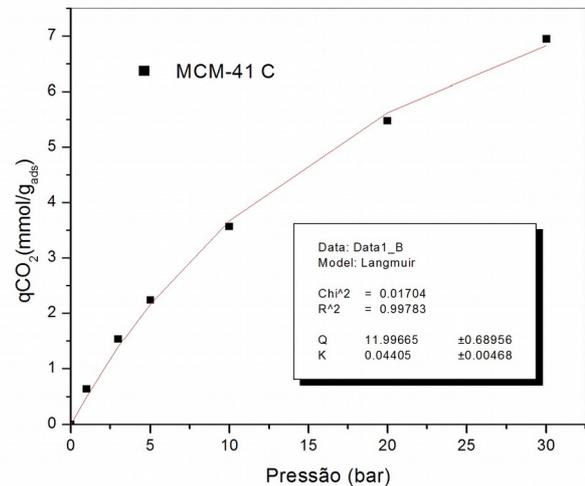
seus poros, e histerese do tipo H1, se possuem poros cilíndricos e distribuição estreita. Essas curvas permitem o cálculo de propriedades de superfície necessárias para melhor avaliar a sua capacidade adsorviva do CO₂. As Figuras 4 e 5 apresentam as isotermas de adsorção e dessorção de N₂ referentes ao MCM-41 sintetizado e calcinado, respectivamente.

De acordo com as observações feitas nas isotermas de adsorção, a presença do direcionador orgânico nos poros altera significativamente o perfil de adsorção sobre o adsorvente. A isoterma da Figura 4, do material não calcinado, é do tipo II, característico de adsorventes não porosos ou macroporosos com adsorção multicamadas irrestrita, como classificado pela IUPAC.

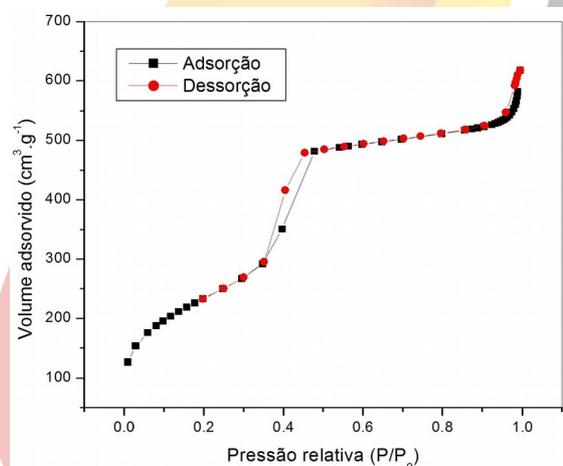
Figura 4: Isotermas de adsorção/dessorção de N₂ à 77K do MCM-41 não calcinado.

Figura 5: Isotermas de fisissorção de N₂ à 77K do MCM-41 calcinado.

Após a desobstrução dos poros através de calcinação, a isoterma de adsorção do



MCM-41 apresenta as regiões típicas propostas por Schwanke [2012]. A isoterma é do tipo IV com histerese do tipo H1 entre uma



faixa estreita de pressão relativa ($P/P_o = 0,35-0,5$), resultante de processos diferentes de condensação capilar. Este tipo de histerese confirma a geometria cilíndrica dos poros.

Verifica-se um grande aumento da área superficial e do volume dos poros entre a amostra não calcinada e a calcinada, visto que a eliminação do CTAB+ abre espaço para

adsorção de um maior número de moléculas. Foi constatado também uma contração do tamanho médio do diâmetro do poro. Este resultado está correlacionado aos resultados do DRX, pois houve um deslocamento do ângulo 2θ do pico de reflexão do plano (100) para um valor maior e, quando isto ocorre, o diâmetro do poro comumente diminui.

A Tabela 3 exibe um resumo das características texturais do suporte sintetizado:

Tabela 3: Propriedades superficiais do MCM-41 como sintetizado e calcinado.

3.2. Ensaios de adsorção de CO₂

A Figura 6 representa a isoterma de adsorção de CO₂ do MCM-41 calcinado, assim como os parâmetros ajustados ao modelo de Langmuir. Os pontos são os dados experimentais e a curva representa o modelo de Langmuir melhor ajustado aos dados.

Amostra	Área superficial (m ² g ⁻¹)	Vp (cm ³ g ⁻¹)	Dp (nm)	Wt (nm)
MCM-41 NC	37,48	0,14	13,09	--
MCM-41 C	851,23	0,923	3,9	1.230

Vp = volume de poro; Wt = espessura da parede de sílica; Dp = diâmetro de poros.

Figura 6: Isoterma de adsorção de CO₂ à 25°C pelo MCM-41.

Como pode ser observado pelo coeficiente de correlação (0,9978), o modelo de Langmuir se ajustou bem aos dados experimentais. Analisando-se os parâmetros, podemos perceber que o MCM-41 sintetizado possui alta capacidade adsorviva (q_m) de 11,99 mmol/g_{ads} acompanhado um parâmetro de Langmuir (K) pequeno de 0,04405. Como o parâmetro de Langmuir está relacionado à ligação entre o adsorbato e o adsorvente, seu baixo valor mostra que ligações entre o gás e o suporte são fracas, acarretando em capacidade máxima somente sob altas pressões (a curva atinge seu máximo em altas pressões).

Por outro lado, o perfil da isoterma possui incremento gradual da quantidade adsorvida. Isso indica que o processo inverso de dessorção sob vácuo pode ser viável em um processo dinâmico [STRAGLIOTTO *et al.*, 2009]. Esse é um resultado importante para a captura de CO₂, pois após o carregamento do suporte com gás, ele deve ser regenerado para ser aplicado novamente em um novo ciclo de adsorção.

4. CONCLUSÕES

O MCM-41 foi sintetizado por um método hidrotérmico que dispensa regular o pH, o que reduz o tempo de síntese de 5 dias, em média, para apenas 48 horas. A calcinação realizada por 8h foi suficiente para eliminar o

direcionador orgânico de seus canais, como verificado através das bandas de infravermelho.

Com base na difratometria de raios X e na análise de fisissorção de N₂, concluímos que o material sintetizado possui a fase hexagonal típica com alto grau de ordenação estrutural, com poros cilíndricos, grande volume de poro e área superficial, necessárias para garantir um alto índice de adsorção de gases com o suporte limpo e também funcionalizado. O deslocamento do pico referente ao plano d(100) na amostra calcinada está em concordância com a contração da parede de sílica verificada pelo BET.

Já o ensaio de adsorção de CO₂ revelou que o adsorvente possui capacidade adsortiva alta, mas que pode ser atingida somente sob altas pressões. Isso confere viabilidade à captura de gases em processos submetidos à média e altas pressões. Além disso, o sistema possui um incremento gradual de capacidade adsortiva de CO₂, o que se reflete em uma reversibilidade favorável, necessário para a regeneração do suporte após a captura do gás, para uso em processos cíclicos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

(ANP), pela concessão das bolsas ao PRH-54; ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), pela caracterização do material através de DRX, IR-FT, BET, e ao Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis (CTGás-ER), por executar o ensaio de adsorção/dessorção de CO₂.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M. N. *Estudo de materiais mesoporosos funcionalizados com diferentes amins para a captura do dióxido de carbono através do processo de adsorção*. 2013, 108p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Química. Natal-RN.

CASCO, M.E., MARTINEZ-ESCANDELL, M., SILVESTRE-ALBERO, J., RODRÍGUEZ-REINOSO, F. *Effect of the porous structure in carbon materials for CO₂ capture at atmospheric and high pressure*. Carbon. V. 67, p. 230-235, 2014.

CHEN, Y.H.H.; TIMILSINA, G,R.; LANDIS, F. *Economic implications of reducing carbon emissions from energy use and industrial processes in Brazil*. Journal of Environmental Management, v. 130, p. 436-446, 2013.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

CHENG, C.F.; PARK, D.H.; KLINOWSKI, J.
*Optimal parameters for the synthesis of the
mesoporous molecular sieve [Si]-MCM-41.*

Journal of Chemical Society., Faraday Trans.,
v 93, p. 193-197, 1997.

ELKAMEL, A., BA-SHAMMAKH, M.,
DOUGLAS, P., CROISSET, E. *An
optimization Approach for Integrating
planning and CO2 Emission Reduction in
the Petroleum Refining Industry.* Ind. Eng.
Chem. Res. 47, 760-776, 2008.

FARIAS, R. F. *Introdução à Química do
Petróleo.* Rio de Janeiro. Ciência Moderna,
2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA –
MME. *Perguntas mais frequentes sobre o
marco regulatório do Pré-Sal.* 2009.

PETROBRAS. Desenvolvemos tecnologia
inédita que reduz emissões de gases que
provocam o efeito estufa. 2015. Disponível
em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/developemos-tecnologia-inedita-que-reduz-emissao-de-gases-que-provocam-o-efeito-estufa.htm>>. Acessado em 1 de Março
de 2015.

PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO, M.A.; BRUNA,
G.C. *Curso de Gestão Ambiental.* Manole,
2013.

REIS, L.B.; FADIGAS, E.A.F.A.;
CARVALHO, C.E. *Energia, recursos
naturais e a prática do desenvolvimento
sustentável.* Manole, 2012.

RINKER, E.B.; ASHOUR, S. S.; SANDALL,
O.C. *Absorption of carbon dioxide into
aqueous blends of diethanolamine and
methyldiethanolamine.* Industrial & Engineer
Chemistry Research, 39(11), 4346-4356,
2000.

SCHWANKE, A. J. *Mesoestruturas Porosas
a partir de Materiais Naturais.* 2012. 89 f.
Dissertação de Mestrado, Universidade
Federal do Rio Grande do Norte, Programa de
Pós Graduação em Ciência e Engenharia dos
Materiais. Natal-RN.

SILVA, M. L.P. da. *Síntese e caracterização
de peneiras moleculares mesoporosas do
tipo MCM-41 e AIMCM-41 a partir de fontes
alternativas de sílica e de alumínio.* 2009.
132 f. Tese de Doutorado, Universidade
Federal do Rio Grande do Norte, Programa de
Pós Graduação de Ciência e Engenharia dos
Materiais. Natal-RN.

**www.conepetro.com
.br**

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

SING, K.D.W.; EVERETT, D.H.; HAUL, R.A.W.; MOSCOU, L.; PIEROTTI, R.A.; ROUQUEROL, J.; SIEMIENIEWSKA, T.;
Reporting Physisorption Data for Gas/Solid Systems with Special reference to the Determination of Surface Area and Porosity. Pure & Applied Chemistry. V.57, n. 4, p.603-619, 1985.

SONG, C. *Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of*

CO₂ for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing. Catalysis Today, 115: 2–32. 2006.

STRAGLIOTTO, F.M.; PEREIRA, A.C.; BEZERRA, D.O.; AZEVEDO, D.C.S.
Caracterização e avaliação de adsorventes para captura de CO₂ de gases de queima. VIII COBEC-IC; 2009 Jul 27-30.

www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br