

# APLICAÇÕES AMBIENTAIS DE ZEÓLITAS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

## ENVIRONMENTAL ZEOLITES APPLICATIONS IN OIL INDUSTRY

### **ANA CATARINA FERNANDES CORIOLANO**

Geóloga, Advogada, Professora Doutora da Universidade Potiguar/UNP. E-mail: catarina.coriolano@unp.br

### **ANDREZA MIRANDA DE ANDRADE BARBOSA**

Tecnóloga em Rede de Computadores e Graduanda do Curso de Engenharia de Petróleo e Gás da Universidade Potiguar/UNP. E-mail: andrezinhamiranda@hotmail.com

### **ALLYNE FONSÊCA DE LIMA**

Graduanda do Curso de Engenharia de Petróleo e Gás da Universidade Potiguar/UNP. E-mail: allyneeu@hotmail.com

### **PRISCILLA MARIANNE GUIMARÃES DE MELO**

Tecnóloga em Petróleo e Gás e Graduanda do Curso de Engenharia de Petróleo e Gás da Universidade Potiguar/UNP. E-mail: priscillamarianne@hotmail.com

### **ANTONIO SOUZA DE ARAUJO**

Químico, Pós-Doutor em Kent State University, Ohio USA. Professor Titular da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química. E-mail: araujo.ufrn@gmail.com

**Envio em:** Agosto de 2014

**Aceite em:** Novembro de 2014

## RESUMO

A indústria do petróleo possui uma vasta área de alcance, produzindo derivados, significativamente, importantes. Por outro lado, a indústria petrolífera tem gerado vários resíduos que são lançados no meio ambiente. No decorrer das décadas, alguns materiais trouxeram uma evolução para a cadeia do petróleo e gás, desde o seu refino até tratamentos adjacentes. Um destes foi a zeólita, que, desde 1962, constitui-se o catalisador mais importante na indústria de petróleo, sendo utilizado no processo de craqueamento catalítico fluidizado, tratamento dos derivados e resíduos. Esses materiais também são utilizados como adsorventes de dióxido de carbono da atmosfera e para remoção de metais pesados do meio aquoso. Este artigo visa a apresentar a utilização comercial e ambiental das peneiras moleculares (zeólitas), caracterizando suas formas de aplicação e sua importância para o desenvolvimento de novas tecnologias que venham a beneficiar o meio ambiente.

**Palavras Chave:** Indústria do petróleo. Zeólita. Meio ambiente. Catalisadores.

## ABSTRACT

*The oil industry has a vast range, producing significantly important derivatives. Furthermore, the petroleum industry has generated several residues that are released into the environment. Over the decades some materials represented breakthrough for the oil and gas chain, from petroleum refining to secondary treatments. One of this was the zeolite, which since 1962 is considered the most important catalyst in the industry, being used in the fluid catalytic cracking process, treatment of the derivatives and oil residues. In addition, these materials are used as adsorbents for carbon dioxide from the atmosphere, as well as for remove heavy metals from aqueous surroundings. In this context, this article presents some environmental and commercial uses of molecular sieves (zeolites), featuring their application and importance for the development of new technologies that will benefit the environment.*

**Keywords:** Petroleum industry. Zeolites. Environment. Catalysts..

## 1- INTRODUÇÃO

O petróleo é um composto proveniente de resíduos fósseis e representa, atualmente, a principal matriz energética do planeta, assim como é matéria-prima para a produção de diversos derivados, como: gasolina, diesel, plásticos, produtos asfálticos e solventes. Da mesma forma que provém benefícios, a indústria do petróleo é responsável, também, pela produção de diversos resíduos, que se tornam graves problemas socioambientais não só do Brasil como do mundo (GUIMARÃES, 2007).

A partir do século passado, começaram a surgir as primeiras preocupações com a questão da disposição final dos resíduos industriais, haja vista que o ritmo de exploração dos recursos naturais exigidos pelo desenvolvimento econômico não correspondia ao tempo que a natureza necessitava para decompor partes destes, contribuindo, gradativamente, com a degradação ambiental e para um colapso dos recursos naturais em curto período, se medidas para contê-los não tivessem sido tomadas (GUIMARÃES, 2007). Logo, nos últimos anos, as questões ambientais têm recebido grande atenção dos pesquisadores. A busca por métodos alternativos de tecnologia limpa visa a impulsionar a relação crescimento industrial com desenvolvimento sustentável.

Uma das alternativas encontradas por pesquisadores foi a Zeólita, material poroso capaz de proporcionar um peneiramento/seletividade molecular e que pode ter origem tanto mineral quanto sintética.

A primeira zeólita mineral foi descoberta na Suécia, pelo mineralogista Cronstedt (1756); no entanto, apenas em 1926 as características de adsorção das zeólitas foram atribuídas aos pequenos poros de cerca de 5 Å (ångström) de diâmetro, que possibilitam a inserção de pequenas moléculas, excluindo as maiores. A partir disso, McBain, em 1932, introduziu o termo “peneira molecular” para designar um grupo de zeólitas naturais que tinham a capacidade de separar grupos de moléculas em função do seu diâmetro cinético inferior ou superior aos diâmetros dos poros das zeólitas. Essa propriedade, também definida como seletividade de forma, foi, então, tida como a base da arquitetura de novos tipos de matérias zeolíticas (McBAIN, 1932).

Muitas dessas zeólitas tanto têm a função de adsorção como, também, de catalisador, acelerando as reações sem ser consumidas durante o processo. É um produto muito utilizado em refinarias de petróleo, sendo responsável pela quebra e seletividade molecular desses hidrocarbonetos, transformando as frações mais pesadas em frações mais leves.

A utilização desse método de refino proporciona a obtenção de mais frações de hidrocarbonetos comerciais e permite o reaproveitamento de resíduos gerados nesse processo.

Este artigo tem por finalidade mostrar o potencial promissor das zeólitas em diversas aplicações catalíticas na indústria do petróleo, além de enfatizar os possíveis danos ambientais causados por esse recurso não renovável.

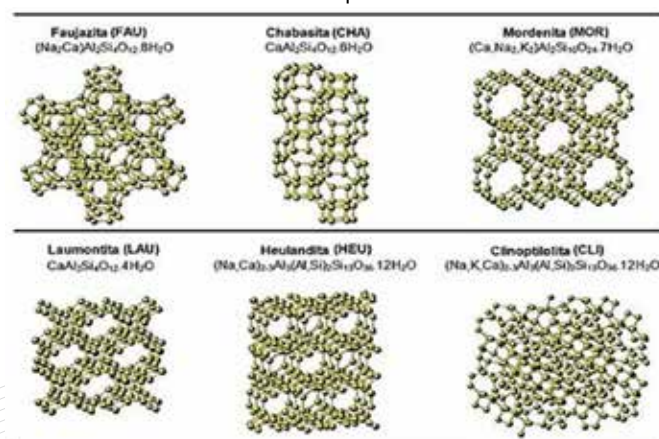
## 2 - ZEÓLITAS E SUA UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

A primeira zeólita mineral foi descoberta na Suécia, pelo Barão Cronstedt, em 1756; esse material vem proporcionando o reaproveitamento de diversos resíduos da indústria do petróleo, bem como permite que ocorram algumas reações que aumentam o desempenho do refino (AFONSO et al. 2003).

O intuito de estudar as Zeólitas se faz pelo fato delas terem a capacidade de “limpar” os processos de produção, adequando o produto às exigências ecológicas, mas evitando-se um aumento significativo dos custos. Por exemplo, o desenvolvimento de zeólitas que limitem a porcentagem de enxofre em 0,05% do diesel combustível; processos de catalisadores alternativos à degradação térmica usada na reciclagem de derivados do petróleo, principalmente plásticos, como polietileno; propostas para conversão de hidrocarbonetos presentes no gás natural (metano, etano, propano, etc) em compostos aromáticos (BRAGA, 2007), ou até mesmo no refino de resíduos de petróleo com o intuito de recuperar boa parte deste, retirando, assim, frações nobres na faixa do óleo diesel, por exemplo.

Segundo Silvestre e Colaboradores (2012), as zeólitas englobam um grande número de minerais naturais e sintéticos que apresentam características comuns. São aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos terrosos (principalmente sódio, potássio, magnésio e cálcio), estruturados em redes cristalinas tridimensionais, compostas de tetraedros do tipo TO4 (T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co) unidos nos vértices através de átomo de oxigênio, como pode ser observado na figura 1.

**Figura 1** – Exemplos de Zeólitas alumínio-silicatos e suas respectivas fórmulas químicas



Fonte: (OLIVEIRA, 2006).

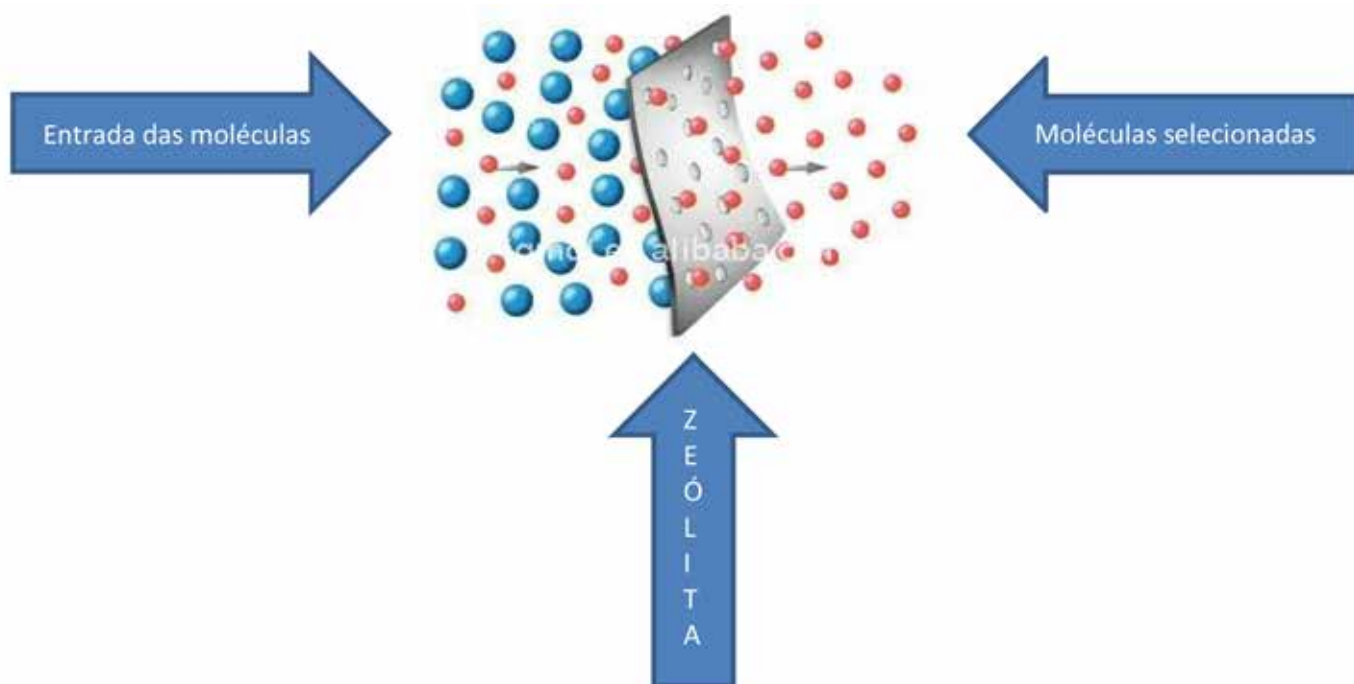
As zeólitas possuem capacidade de adsorção, seletividade iônica e podem ser denominadas “peneiras moleculares” que estão relacionadas à estrutura cristalina da zeólita, associada à seleção de pequenas moléculas e exclusão das maiores (figura 2), ou seja, graças a sua estrutura, poderá ocorrer transferência de matéria entre os espaços intracristalinos, entretanto, será delimitado pelo diâmetro dos poros de cada zeólita. Conjugada com todas essas características, ela é um material que apresenta grande eficiência em catalise, em decorrência de sua grande área superficial, capacidade de adsorção e seletividade porosa.

Logo, as principais aplicações das zeólitas são em adsorção e catálise. Durante muitos anos, os adsorventes usados nas indústrias foram à base de géis de sílica ou alumina e carvão ativado. Devido a exigências de pureza internacionais, tornou-se indispensável pesquisar novos materiais com potencial para alcançar as especificações

que o mercado exigia. As zeólitas vêm sendo, então, usadas, desde a década de 70, com muito êxito, principalmente na indústria do petróleo, as quais fazem papel de catalisador em uma grande quantidade de processos petroquímicos e de refino (SOUZA, 2003).

Peneiras moleculares são zeólitas e/ou outros materiais microporosos, naturais ou sinteticamente produzidos, apresentando como característica básica poros e cavidades cristalinas de dimensões uniformes. As peneiras moleculares são extensamente usadas nos processos de adsorção por apresentarem uma grande seletividade (SOUZA, 2002). Ou seja, o mecanismo de funcionamento da zeólita baseia-se em um processo de peneiramento molecular (seletividade), o que ocorre por causa da grande superfície interna relacionada à externa, que possibilita a passagem de massa entre o espaço cristalino e o meio externo, sendo, por sua vez, essa passagem limitada pelo diâmetro e uniformidade dos microporos da zeólita.

Figura 2 – Seletividade molecular



(adaptado: <http://www.jvacompressores.com.br/produtos/nitromax>).

Essas características possibilitam diversas aplicações para as zeólitas, dentre elas:

- A remoção de metais pesados em tratamento de efluentes contaminados;
- Remoção de dureza da água;
- Remoção de amônia ou íons amônio de resíduos líquidos;
- Purificação e separação de compostos gasosos;
- Inativação de metais pesados tóxicos ou radioativos de solo;

- Catálise química na indústria de petróleo;
- Fertilizantes, entre outras.

Segundo Fungaro e Colaboradores (2007), vale ressaltar que fatores externos, como temperatura, pH e concentração iônica, influenciam diretamente no método de remoção de metais.

De acordo com Passaglia e Sheppard (2001), existem 52 espécies de zeólitas distribuídas em 38 tipos de estruturas diferentes e mais de 150 espécies já foram sintetizadas no mundo todo (FLANIGEN 1981).

### 3 UTILIZAÇÃO DE CATALISADORES PARA OBTENÇÃO DE DERIVADOS DO PETRÓLEO

Os catalisadores cumprem a importante tarefa de fazer com que as moléculas presentes em uma reação reajam com uma velocidade maior. A velocidade de um grande número de reações é influenciada pela presença dessas substâncias; elas aceleram a reação e não influenciam na composição e nem na quantidade do produto final, isto é, permanecem quimicamente inalteradas no processo.

Segundo Afonso (2003), a vida útil de um catalisador em um processo industrial varia de alguns segundos (catalisadores de craqueamento) há vários anos (catalisadores à base de ferro, na síntese da amônia). A desativação ou perda da atividade catalítica é um fenômeno que acompanha, invariavelmente, o processo catalítico, o que torna este fenômeno relevante, pois, hoje, mais de 80% dos processos industriais são de natureza catalítica.

A indústria petroquímica depende, basicamente, de catalisadores contendo zeólitas. Além de realizar a separação de vários componentes do petróleo por destilação, a indústria petroquímica tem como objetivo reformar o produto destilado de forma a produzir a variedade de subprodutos: hidrocarbonetos C1-C4; gasolina; nafta; querosene; gasóleo leve (SCIENCE, 2001).

O uso pioneiro de zeólitas no craqueamento de petróleo ainda continua sendo a mais importante aplicação prática desses materiais. Como catalisador ou suporte de catalisadores, são listadas as principais aplicações industriais das zeólitas sintéticas (ENVIRONMENTAL, 1996), (HAZARDOUS, 2002):

- Craqueamento;
- Hidrocraqueamento;
- Hidroisomerização;
- Conversão de metanol em gasolina;
- Alquilação;
- Isomerização de aromáticos;
- Polimerização;
- Síntese orgânica e inorgânica (química fina) (SCIENCE, 2001).

Segundo Claryfing (2002), os catalisadores zeolíticos consistem de um ácido sólido (zeólita), contendo um componente hidrogenante (Pt, Pd, etc.) e componentes (terras raras) em sua estrutura para conferir-lhes estabilidade estrutural (hidrotérmica), melhorando suas propriedades mecânicas.

- Metais nobres (Pd, Pt);
- Metais de transição (Ni, Co);

- Óxidos metálicos (ZnO, CuO, NiO), sulfetos metálicos (NiS, Co/MoS), e complexos metálicos.

Esses componentes podem ser introduzidos por métodos que incluem: mistura física do componente, impregnação da zeólita, troca iônica e adsorção.

Atualmente, o comércio de catalisadores vem crescendo de uma forma considerável; a utilização se dá, principalmente, em refinarias de petróleo, na produção de plásticos e polímeros em geral, e para outras indústrias químicas.

Tendo em vista o potencial visado para a aquisição de zeólitas específicas, o controle de alguns aspectos durante sua produção possui considerável importância; alguns desses aspectos são: características estruturais, razão silício/alumínio, tamanho do poro e densidade da rede (número de átomos por cela unitária).

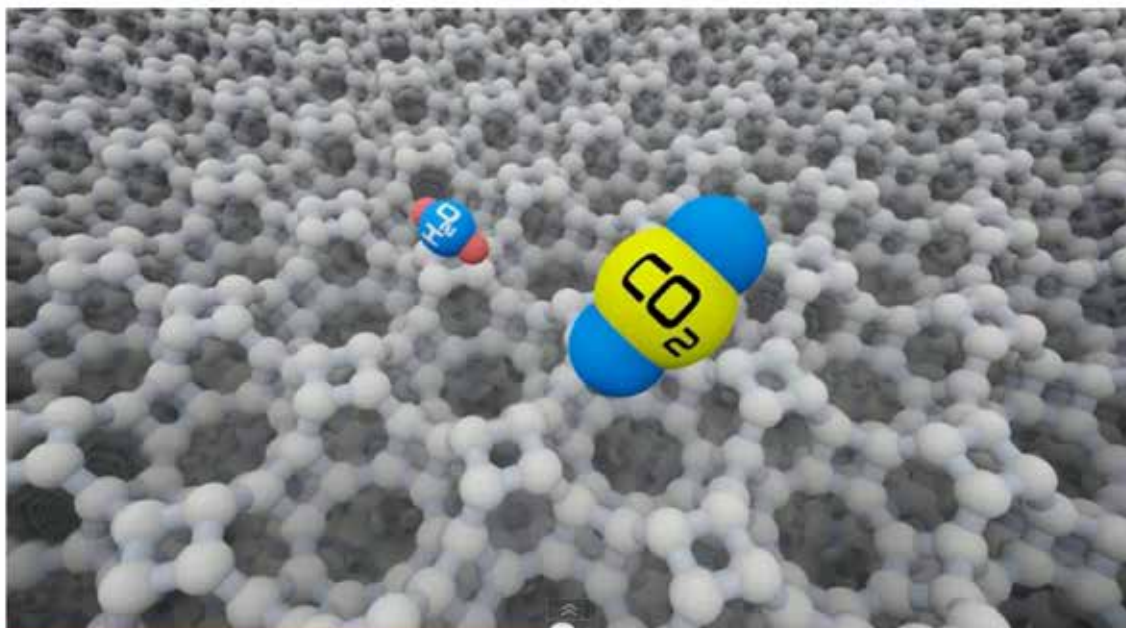
O grupo zeólita vem se apresentando como material muito promissor. Um de seus diferenciais é o potencial ácido, que, por se encontrar interno no poro da zeólita, facilita seu manuseio, da mesma forma que, com capacidade ácida de cerca de 10 milhões de vezes a mais que o ácido sulfúrico concentrado, potencializa seu poder na quebra de moléculas.

Investimentos na área petroquímica conjugados com a busca pela adequação a exigências ambientais vêm proporcionando a aplicação de zeólitas em diversas áreas, maximizando, assim, seu potencial.

Cada zeólita tem as suas características de seletividade e capacidade de troca catiônica. Essas características podem ser mudadas por fatores, tais como pH, temperatura, presença de outros íons na solução etc. Os diferentes usos das zeólitas, apropriando-se da sua capacidade de troca catiônica, são: agricultura, detergentes, tratamento de água e efluentes, tratamento de licores radioativos. E, em relação ao seu uso em função das Propriedades de Adsorção, são: Dessecação/aquecimento solar/refrigeração, purificação e separação industrial de gases, controle de odor, catálise e nutrição animal (LUZ, 1995).

Segundo Dabrowski e Colaboradores, 2004, devido à capacidade de troca iônica das zeólitas, material que tem origem mineral em sua maioria, estas têm sido amplamente utilizadas no tratamento de efluentes industriais (figura 3), domésticos (KALLÓ, 2001), água de abastecimento (DOULA, 2006; DIMIRKOU, 2007), água subterrânea (ABADZIC; RYAN 2001), drenagem ácida de minerações (FUNGARO; IZIDORO, 2006; RÍOS et al., 2008) e solos contaminados (GARAU et al., 2007).

Figura 3 – Zeólitas modificadas para tratamento de água



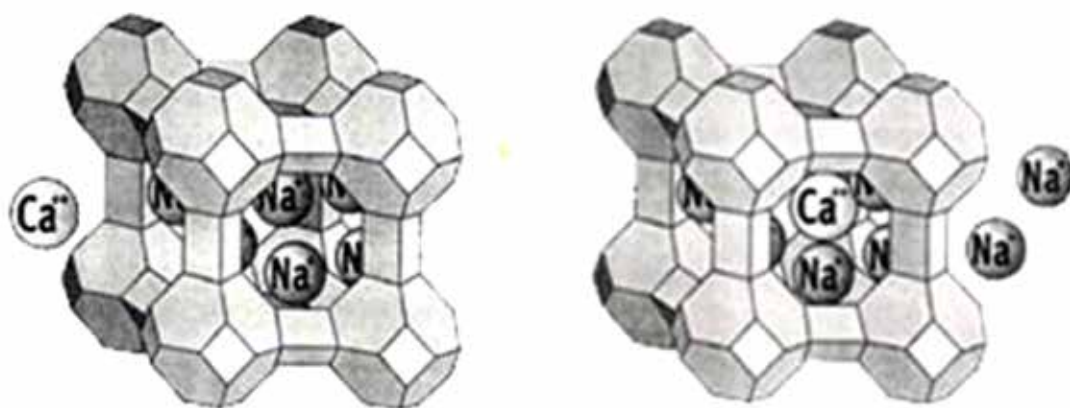
Fonte: (FILTRACEL, 201-).

#### 4 - APLICAÇÕES AMBIENTAIS DAS ZEÓLIAS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Segundo Braga (2007), já existem relatos da aplicação ambiental de zeólitas em áreas, como: adsorventes para purificação de gases (figura 4); desenvolvimento de ze-

ólitas que limitem a porcentagem de enxofre em 0,05% do diesel combustível; processos catalíticos alternativos à degradação térmica usada na reciclagem de derivados de petróleo, principalmente plásticos, como polietileno; ou, ainda, conversão de hidrocarbonetos presentes no gás natural (metano, etano, propano, etc.) em compostos aromáticos.

Figura 4 – Zeólita para purificação de gases, adsorção de vapores e outros usos



Fonte: (ZEÓLITA..., 2010).

Conforme a elevada homogeneidade no arranjo e sua alta proporção de pureza, as classes de zeólitas sintéticas são, habitualmente, empregadas como catalisadores.

Geralmente, o aumento de temperatura é um fator que beneficia o desempenho da zeólita. Pode ser aplicado para ampliar a eficiência da zeólita na remoção de metais pesados em solução, objetivando reativar o mineral

e recuperar os metais presos em sua estrutura, ou, ainda, na remoção de água por aquecimento para aumentar o volume de vazios no mineral e promover, por exemplo, a separação de moléculas de hidrocarbonetos menores (como pentano e octano) daqueles ramificados, que são maiores (HARBEN; KUZVART, 1996).

De acordo com Jimenez, Bosco e Carvalho (2004), a

temperatura influencia, fortemente, na velocidade de adsorção dos metais. Por exemplo, comparando-se as retenções nos tempos de 6h, temos que, no caso do Cd(II), a adsorção a 25°C é de 60%, enquanto que a 60°C atinge 92%. Para o Cr(III), um aumento na temperatura de 25 para 40°C já permite retenção de 99% nesse mesmo intervalo de tempo. A retenção do Mn(II) e do Ni(II) mantém-se em valores um pouco inferiores, mas, de modo semelhante aos demais metais, a velocidade de adsorção sofreu considerável aumento com a temperatura. Esse comportamento pode ser avaliado em relação aos raios iônicos das espécies hidratadas. Os seus valores indicam a necessidade de remoção de parte das moléculas de água da esfera de coordenação, para que os cátions metálicos possam acessar as cavidades zeolíticas. Como esse processo é favorecido em temperaturas elevadas, a velocidade de adsorção também aumenta com a temperatura.

Atualmente, a zeólita tornou-se um catalisador fundamental para a indústria, cerca de 80% da produção química mundial se processa por, pelo menos, uma etapa catalítica. As refinarias brasileiras consomem 28 mil toneladas de catalisadores por ano (SANTOS et al., 2014).

Dadas as crescentes preocupações com a questão ambiental, o emprego de catalisadores como alternativa para a redução das emissões de efluentes e rejeitos tóxicos tem crescido de modo significativo.

O craqueamento catalítico gera alguns impactos ambientais significativos, tais como (SANTOS et al., 2014):

- Emissões atmosféricas – Gás da chaminé do

aquecedor, Co, Nox, Sox, HC's e MP bem como regeneração de catalisador;

- Efluentes do processo – altos níveis de óleo, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, sólidos em suspensão, fenóis, cianetos, alto Ph;
- Resíduos sólidos gerados – catalisador exausto (metais pesados do óleo cru e HC's), finos do catalisador exausto que vêm dos precipitadores eletrostáticos (silicato de alumínio e metais).

Atualmente, a principal forma de aproveitamento desses materiais é a utilização pelas cimenteiras para fabricação de clínquer, contudo, outros métodos de reutilização desses catalisadores já vêm sendo estudados, inclusive a possibilidade de reativa-los.

## 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude dos fatos mencionados, fica evidenciada a nova consciência mundial em relação ao meio ambiente e à indústria do petróleo. Levando em consideração esses aspectos, a zeólita mostrou ser uma tecnologia de dimensão e aplicação ainda não totalmente explorada. Visto que, no momento, seu potencial ambiental, industrial, catalítico, entre outros está em expansão. Portanto, a aplicação desse material poroso fica delimitada por suas características e fatores externos que influenciam no processo. Constata-se, também, a imprescindibilidade de se testar, em condições reais, o uso e aplicação de zeólitas como forma de dimensionar sua capacidade, como já observado por Pansini (1996).

## REFERÊNCIAS

ABADZIC, S.D.; RYAN, J.N. 2001. Particle release and permeability reduction in a natural zeolite (clinoptilolite) and sand porous medium. **Environmental Science Technology**, v.35, p.4502-4508, 2001.

AFONSO, J. C.; SANTOS, E. S.; MENEZES, M. S.; "Influence of Weather Conditions on Degradation of a Spent Hydrotreating Catalyst". An. **Assoc. Bras. Quim.** v. 52, n 2, p. 67-72, 2003.

AGUIAR, Mônica Regina Marques Palermo de; NOVAES, Amanda Cardoso; GUARINO, Alcides Wagner Serpa. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Quím. Nova [online]**. v.25, n.6b, p. 1145-1154, 2002. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422002000700015](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000700015)> Acessado em: 17 jun.2014 as 09:20:51.

BRAGA, A.A.C.; MORGAN, N.H. 2007. Descrições estruturais cristalinas de zeólitos. **Química Nova**, v.30, p.178-188, 2007.

CLARYFING the Scope of Petroleum Hazardous Waste Listings: Supplemental Information Regarding Petroleum Hydroprocessing Units., U.S. **Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste**: Washington, 55 pp, May 2002.

DABROWSKI, A.; HUBICKI, Z.; PODKOSCIELNY, P.; ROBENS, E. Selective removal of heavy metal ions from waters and

industrial wastewaters by ion-exchange methods. **Chemosphere**, v.56, p. 91-106, 2004.

DOULA, M.K.; DIMIRKOU, A. Use of an iron-overexchanged clinoptilolite for the removal of Cu<sup>2+</sup> ions from heavily contaminated drinking water samples. **Journal of Hazardous Materials**, v.151, p. 738-745, 2008.

FLANIGEN, E.M. Crystal structure and chemistry of natural zeolites. In: F.A. MUMPTON (ed.). **Reviews in Mineralogy**, v.4, p.165-175, 1981.

FUNGARO, D.A.; IZIDORO, J.C. Remediação de drenagem ácida de mina usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas leves de carvão. **Química Nova**, v.29, n.4, p. 735-740, 2006.

\_\_\_\_\_; ANDRADE O.A. **Desenvolvimento sustentável e o aproveitamento de resíduos de usinas termelétricas**, 2007.

FILTROCEL **zeolitas modificadas par**. Disponível em: <<http://www.enlacepymes.com/filtrocel-zeolitas-modificadas-para-tratamiento-de-aguas-l39145-2>> Acessado em: 24 jun.2014, às 13:45:10.

GARAU, G.; CASTALDI, P.; SANTONA, L.; DEIANA, P.; MELIS, P. 2007. Influence of red mud, zeolite and lime on heavy metal immobilization culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminates soil. **Geoderma**, v.142, p. 47-57, 2007.

GUIMARÃES, A. K. V. **Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra oleosa de petróleo para fins de reuso**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

HARBEN, P.W.; KUZVART, M. **Industrial Minerals** – a Global Geology. London, Industrial Minerals Information Ltd, 462 p., 1996.

Hazardous Waste Management System Identification and Listing of Hazardous Waste: Spent Catalysts from Dual-Purpose Petroleum Hydroprocessing Reactors. **Federal Register**, v. 67, p.30811-30818, 2002.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M. D.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolecita - influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Quím. Nova**, v.27, p. 734-738, 2004.

KALLÓ, D. 2001 Applications of natural zeolites in water and wastewater treatment. In: D.L. BISH; D.W. MING (ed.). **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v.45, p. 519-550, 2001.

LUZ, A. B., **Zeólitas: propriedades e usos industriais** – Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 35p. - (Série Tecnologia Mineral, 68), 1995.

MCBAIN, J. W., **The Sorption of Gases and Vapors by Solids**, **Rutledge and Sons**, London, 1932.

OLIVEIRA, C. R., **Adsorção-remoção de íons de sulfato e isopropilxantato em zeólita natural funcionalizada**. 2006. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), UFRGS. Porto Alegre, 2006.

PANSINI, M. Natural zeolites as cation exchangers for environmental protection. **Mineralium Deposita**, v.31, p. 563-575, 1996.

PASSAGLIA, E. & SHEPPARD, R.A. 2001. The crystal of zeolites. In: D.L. BISH; D.W. MING, (ed.). **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v.45, p. 69-116, 2001.

SCIENCE APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION - BACKGROUND DOCUMENT - Clarifying the Scope of



Petroleum Hazardous Waste Listings: Supplemental Information Regarding Petroleum Hydroprocessing Units, U.S. **Environmental Protection Agency Office of Solid Waste**, Washington, D.C. 278 pp, June 2001.

SANTOS C; LARRISA E; JESUS F; BORGES G; BATISTA, H. Catalisadores petróleo, 2014.

SILVESTRE, A. H.O.; VIEIRA, E. B.; BARRETO, L. S., Importância das zeólitas na indústria do petróleo e no craqueamento em leito fluidizado (fcc). Bolsista de Valor: **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 63-75, 2012.

SOUZA, José Roberto. **Dessulfurização de gás natural usando peneiras moleculares**. Natal, RN; Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Química, UFRN, 2002.

SOUZA, Marcelo et al. **Craqueamento catalítico de uma fração de c5+ do gn utilizando a zeólita hzsm-5**. Natal, RN: Departamento de Química da UFRN, 2003.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, STUDY OF SELECTED PETROLEUM REFINING RESIDUALS - INDUSTRY STUDY - **Office of Solid Waste Hazardous Waste Identification Division**, Washington, DC, 1996; .

ZEÓLITA para purificação de gases, adsorção de vapores e outros usos, **ALLBIZ**, 2010. Disponível em: <<http://sao-paulo.all.biz/zelita-para-purificacao-de-gases-adsorcao-de-g42925>> Acessado em: 24 jun.2014 as 14:00:26.