



**SEFIC2017
UNILASALLE**

**A PESQUISA E O
RESPEITO À DIVERSIDADE**

16 A 20 DE OUTUBRO DE 2017

ISSN 1983-6783

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DOS HORIZONTES VESICULARES EM ROCHA VULCÂNICA CONTENDO ZEÓLITAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Davi Valduga,
Prof. Dr. Rubens Müller Kautzmann (orient.)
UNILASALLE

Resumo

O agregado de rocha com zeólita possui baixo custo e está disponível nas pedreiras do Blocos Litoral Norte e Central do Rio Grande do Sul. Este possui ótimas propriedades adsorvente e será reduzido a particulados menores, sendo submetido a três colunas de leito fixo, em que será recirculado o lixiviado proveniente do pós-tratamento de um aterro sanitário por um período de 24, 48 e 72 horas, recolhendo-se amostras para caracterização do abatimento de DBO/DQO, metais e nitrogênio amoniacal.

Palavras-chave: *zeólita, lixiviado, adsorção.*

Área Temática: Engenharias e Computação.

1. Introdução

O estudo do aproveitamento de material mineral contendo zeólita proveniente dos horizontes vesiculares em rocha vulcânica está disponível a um baixo custo. Para tanto o objetivo é avaliar a eficiência deste material rejeitado da produção de brita em pedreiras, contendo expressiva concentração de zeólitas quanto à capacidade de adsorção no uso como alternativa para a remoção da carga poluente de lixiviado do tratamento indireto de aterro sanitário. Pois a decomposição da matéria orgânica dos resíduos ocasiona a geração de lixiviado, o qual pode variar a composição de acordo com a região. Os principais parâmetros de relevância são o DQO, DBO, metais e nitrogênio amoniacal. Para tanto uma das possibilidades de remoção destes contaminantes é o método de adsorção, utilizando minerais do grupo das zeólitas, que possuem uma característica de micro poros adsorventes.

2. Marco Teórico

A geração dos resíduos pela sociedade acarreta enormes prejuízos ao meio ambiente, o qual são dispostos em aterro sanitário. (PORTELLA e RIBEIRO, 2014)

O aterro de resíduos sólidos urbanos é caracterizado como uma obra de engenharia que visa à redução do impacto ambiental e objetiva o armazenamento final dos rejeitos de forma a não causar danos, malefício ou prejuízos à saúde pública. Este funciona como um biodigestor anaeróbio, pois o material é confinado na menor área possível em camadas de solo compactadas no qual sofre perda de massa e passa por processos físicos, químicos e biológicos. (CAETANO, 2009, OLIVEIRA, 1985, NBR 8419/84 ABNT, LIBÂNIO, 2002). Possui infraestrutura constituída por impermeabilização da base, de drenos para coleta de gases e líquidos lixiviados entre outros.

Com tudo um dos problemas relevantes a serem superados é o tratamento do lixiviado gerado nas células de aterro, necessitando uma solução, com baixo custo e que minimize os impactos ao meio ambiente. (SERAFIM, et al., 2003, BARROS, 2012).

Este lixiviado se apresenta como um líquido escuro, com odor forte característico de amônia, sendo sua geração ocasionada pelos mecanismos caracterizados como fase ácida, que



ocorre no início da operação, com elevada demanda de carga orgânica e poucas bactérias atuando no meio proporcionando um pH baixo e grande quantidade de ácidos voláteis. Com o passar do tempo os resíduos confinados formam a fase metanogênica, a qual apresenta a flora de bactérias bem desenvolvida, que consomem os ácidos voláteis, gerando gás carbônico, metano e proporcionando um pH mais elevado com a formação de nitrogênio amoniacal acentuado. Na fase de encerramento do aterro, denominada fase de maturação, ocorre a redução da geração de gás e estabilização da massa de resíduos. (MARRA, 2016, SERAFIM, et al., 2003, SOUTO, 2009, BARROS, 2012).

O lixiviado possui uma gama de parâmetros preocupantes, como Sólidos Dissolvidos Totais, que dificulta o tratamento biológico, DQO, SO_4^{2-} (Sulfato), que limita o uso de processos por meio de tratamento anaeróbios, devido a produção de fortes odores, metais pesados que dificultam também o tratamento por meio biológico. (BAHE, 2008). O parâmetro que merece atenção é o nitrogênio amoniacal, que é diretamente tóxico para peixes e outros organismos aquáticos pois promove a depleção quando em concentrações elevadas em conjunto com o fósforo, promovendo o crescimento desordenado de organismos que conduzem a eutrofização de lagos e rios. (TAKI, 2015). Na tabela 01, se encontra os parâmetros dos principais elementos, constituintes no lixiviado do aterro.

Tabela 01: Valores médios de parâmetros e eficiência no tratamento encontrado nos aterros sanitários no estado do Rio Grande do Sul.

Parâmetros	Unidade	Efluente Bruto	Efluente ultima lagoa	Eficiência
Cádmio	mg/l	0,003	0,003	0,00%
Chumbo	mg/l	0,0198	0,0198	0,00%
Cloreto	mg/l	3381	2958	12,51%
Coliforme Termotolerante	NMP/100ml	<100	<100	0,00%
Coliforme Totais	NMP/100ml	7030	3270	53,00%
Condutividade	mg/l	17700	15150	14,00%
Cromo Total	mg/l	0,5896	0,4536	23,00%
DBO	mg/l	2540	1408	45,00%
DQO	mg/l	5190	3048	41,00%
Ferro	mg/l	4,34	6,06	-40,00%
Fósforo Total	mg/l	17,4	11	37,00%
Magnésio	mg/l	199	164	18,00%
Mercurio	mg/l	0,0098	0,0038	61,00%
Níquel	mg/l	0,296	0,256	14,00%
Nitrogênio Amoniacal	mg/l	1978	1256	37,00%
Nitrogênio Kjeldahl	mg/l	2168	1375	37,00%
OD	mg/l	1	0,1	90,00%
pH	-	8,23	8,65	-5,00%
Potássio	mg/l	1707,9	1400,7	18,00%
Sódio	mg/l	2244,2	1883,8	16,00%
Sólidos Sedimentáveis	mL/L.h	1,6	0,4	75,00%
Sólidos Suspensos	mg/l	213	203	5,00%
Sulfato	mg/l	340	387	-14,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os parâmetros da tabela 01, as principais operações e processos de tratamento para lixiviados de aterro sanitário, estão apresentados na tabela 02. (BAHE, 2008).

Tabela 02: Principais processos e suas operações de tratamento de lixiviado.



Operações Físicas	Aplicação	Comentários
Coagulação		
Floculação	Retirada de sólidos em suspensão	Aplicação limitada
Sedimentação		
Filtração		
Arraste por ar (<i>Air stripping</i>)	Eliminação de amônia e compostos orgânicos voláteis	Controle do ar
Absorção	Separação de orgânicos	Custos variáveis
Troca iônica	Remoção de inorgânicos	Processo de refino
Osmose reversa	Eliminação de inorgânicos diluídos	Custo alto e pré-tratamento
Ultrafiltração	Separação de bactérias e de orgânicos com alto peso molecular	Aplicação limitada
Evaporação	Pequenas quantidades de chorume	Utilizado como Pré-tratamento como na redução do volume de chorume.
Processos Químicos	Aplicação	Comentários
Neutralização	Controle de pH	Aplicação imediata
Precipitação	Separação de metais e alguns ânions	Resíduo (lodo) perigoso
Oxidação	Separação de orgânicos	O cloro forma hidrocarbonetos clorados
Processos Biológicos	Aplicação	Comentários
Lodos Ativados	Separação de orgânicos	Formador de espuma
Reatores em seqüência	Separação de orgânicos	Pequenas vazões
Lagoa aerada	Separação de orgânicos	Grande área
Lagoa Anaeróbia	Separação de orgânicos	Processo mais lento que o anaeróbio Baixa produção de lodo

Fonte: BAHE, 2008.

Considerando a tabela 02, a operação por adsorção se caracteriza como um fenômeno físico-químico, em que espécies químicas presentes em uma fase fluída interagem com a superfície de um sólido ou líquido pela interação que ocorre na concentração das espécies na superfície do sólido ou líquido, sendo definidos os termos como adsorvente para a fase sólida e adsorvato para a espécie química adsorvida e adsorvito para a fase fluída. (ZANIN, 2011).

Os mecanismos relacionados a adsorção, são a troca iônica, no qual o soluto é retido pela reação química em contato com uma resina sólida trocadora de íons, como ocorre com as zeólitas, nos quais os íons sódio de uma resina são substituídos por íons de cálcio de um líquido. Este mecanismo ocorre com zeólitas em processos para a remoção do íon amônio das soluções aquosas. (ZEN, 2016).

Com tudo há uma força física (fisissorção) que interage envolvida no fenômeno de adsorção, também denominada de adsorção de Van de Waals, que se apresenta como um fenômeno reversível, resultando da força intermolecular de atração relativamente fraca entre as moléculas do sólido e a substância adsorvida. Portanto o adsorvato se apresenta ligado à superfície pelas forças de interação. Esta substância adsorvida não penetra dentro da estrutura do cristal do sólido zeólita e não se dissolve nele, mas permanece inteiramente atraída eletrostaticamente sobre a superfície que possui a estrutura iônica. (OLIVEIRA, 2016).

O processo mais utilizado para a adsorção é pelo uso de leito fixo no emprego de zeólitas (comerciais). Este consiste no escoamento de uma fase líquida ou gás que passam por uma fase sólida particulada, disposta em uma coluna, no qual o principal objetivo é promover o contato íntimo das fases líquida ou gasosa com a fase estacionária de partículas zeólitas,

Uma das maneiras de estudar a retenção de substâncias nos poros da estrutura cristalina da zeólita é por meio do uso das isotermas de adsorção, pelos modelos de Langmuir e de Freundlich (modelos com dois parâmetros) e também a de Sips (modelo com três parâmetros). Estas isotermas de adsorção são modelos matemáticos importantes, pois fornecem informações



que proporcionam a correlação e predição dos mecanismos da adsorção, pela essência do adsorvente e adsorvato. (FIGUEIREDO, 2014)

A zeólita natural a ser estudada é um mineral de origem sedimentar vulcânica, proveniente do magma que ao se resfriar solidifica-se na forma intrusiva, formando aglomerados de rochas que possui ativação alcalina. (CAVALCANTI, 2013, WASEM, 2012).

Portanto é considerada zeólitas, toda estrutura cristalina, que possui arcações de tetraedros interligados, consistindo de quatro átomos ligados de oxigênio, envolvido por um cátion, tendo sua estrutura microporosa. Estas são conhecidas como aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos e alcalinos terrosos (Na, K, Ca e Mg), dispostos em uma estrutura cristalina tridimensional e com tetraedros do tipo TO_4 , no qual são unidos por átomos de oxigênio nos vértices. (WASEM, 2012, LOBO, 2013).

A zeólita possui uma fórmula geral que descreve a célula unitária e representar a sua composição química dada por: $Mx/n[(Al_2O_3)_x(SiO_2)_y] \cdot wH_2O$, onde n é a valência do cátion M (que pode ser um composto orgânico); x+y é o número total de tetraedros por célula ou por malha elementar; e w é o número de moléculas de água. (MÜLLER, 2013).

Os tamanhos das zeólitas são definidos pelo número de átomos T, no anel, no qual podem variar de pequenos (<4Å), médios (4 a 6 Å), grandes (6 a 8Å) e supergrandes (8 a 20Å), o qual estão relacionados com a alta eficiência de adsorção na superfície interna em relação à externa, pois sua estrutura cristalina é formada por canais e cavidades que forma uma rede molecular. (BOER, 2013, MULLER, 2013).

3. Metodologia

As etapas de pesquisa previstas compreendem a seleção da amostra de rocha contendo zeólitas, das extrações de saibro em Santo Antônio da Patrulha e pedreiras em Maquiné, representando as diversas ocorrências do Bloco Litoral Norte, e as ocorrências de horizontes amigdaloides nas pedreiras de Estância Velha e Novo Hamburgo, do Bloco Central do RS.

Para a escolha do local de proveniência das amostras serão observados os critérios: a) extensão inferida do corpo rochoso contendo horizonte com zeólita; b) taxa de produção do material (saibro, agregado ou rejeito) no caso de coleta de amostra em empresa de mineração; c) interesse e oportunidade dos estudos quanto a potencialidade de uso do material.

O volume e logística da coleta de amostras serão definidos posteriormente, em função do tipo do corpo a ser amostrado e infraestrutura disponível (se em local de saibreira ou pedra ativa ou abandonada).

Posteriormente serão feitos os estudos de caracterização em que serão conduzidos no Centro de Pesquisas do Unilasalle, onde se realizarão as etapas de preparação de amostras, em que pretende-se utilizar uma massa de 400kg de agregado de rocha zeolítica.

A caracterização física compreenderá a determinação dos seguintes parâmetros e análises: a) umidade in natura; b) análise granulométrica por peneiramento do material in natura e separação de frações granulométricas a serem estudadas, b) superfície específica e determinação de macro e microporos: a partir de técnica de BET.

Serão realizadas análises químicas completas: análise elementar, utilizando espectroscopia ICP e constituição dos minerais predominantes por difração de raios X. De forma complementar e específica ao material ou fração a ser estudado. Na etapa de tratamento será realizada análise petrográfica e microscopia MEV-EDS, em amostras representativas. As análises e experimentos desta etapa, serão realizadas por laboratórios contratados, ou com os quais o grupo proponente possui relação de colaboração.

Os dados experimentais serão avaliados por meio de isotermas, como as de Langmuir e de Freundlich (modelos com dois parâmetros) e também a de Sips (modelo com três parâmetros, que representa a combinação das duas primeiras).

Os resultados de carregamento serão obtidos através das concentrações iniciais e finais dos ensaios, a serem determinadas por espectroscopia UV-Visível e/ou cromatografia iônica. Paralelamente será empregado a determinação semiquantitativa de análises imediatas de pH, MO e compostos nitrogenados através de Kits de testes de campo. Entende-se importante avaliar procedimentos de controle que possam ser empregados nas etapas operacionais de tratamento.



Serão obtidas amostras de um aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado e será levantadas as informações técnicas da empresa quanto a carga poluente na etapa do tratamento: da última lagoa (efluente tratado). Tais informações, juntamente com a avaliação de carregamento do material com zeólita, permitirão definir a carga poluente dos efluentes a serem tratados. Estima-se volumes de 100 a 500 litros para os testes experimentais.

A avaliação da eficiência de abatimento de carga poluidora contida no efluente estudado será medida em função da redução dos parâmetros de DQO/DBO, nitrogênio e concentrações de metais. Não será avaliada nesta pesquisa a remoção das diferentes fases constituintes do chorume, como cargas de microrganismos, óleos e graxas presentes também no efluente bruto e suas etapas de tratamento. Antes dos ensaios em calha preenchida com os materiais contendo zeólita serão realizados ensaios preliminares em jar-testes. Nestes ensaios serão avaliadas as cinética de decaimento de DBO e DQO.

A coluna de leito fixo será construída de tubo de pvc, seccionado, que receberá a carga de efluente de forma continuada por bombeamento a partir de tanque regulador por um período de 24, 48 e 72 horas, recolhendo-se amostras em cada período para caracterização do abatimento dos poluentes. Durante os ensaios serão monitorados parâmetros de pH, turbidez, OD e substâncias nitrogenadas.

4. Considerações Finais

O projeto encontra em fase inicial não possuindo resultados e consideração a serem apresentadas.

Referências

ALVES, Fernanda Cristina, **Estudo dos processos de adsorção utilizando argilas como adsorventes para remoção do corante verde malaquita**. Lavras. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/885/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Estudo%20dos%20processos%20de%20adsor%C3%A7%C3%A3o%20utilizando%20argilas%20como%20adsorventes%20para%20remo.pdf>>. Acesso em: 17 junho. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**: NBR 8419. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação**. NBR 13896. Rio de Janeiro. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

BAHÉ, Jackeline Maria Cardoso de França, **Estudo da evaporação de lixiviados de aterros sanitários como alternativa tecnológica de tratamento**: Testes em bancada. Recife. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br:8080/xmlui/handle/123456789/5157>>. Acesso em: 17 maio. 2017.

BARROS, Regina, Mambeli, **Tratamento de resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade. POVINELLI, Jurandy, **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.



**SEFIC2017
UNILASALLE**

**A PESQUISA E O
RESPEITO À DIVERSIDADE**

16 A 20 DE OUTUBRO DE 2017

ISSN 1983-6783

BOER, Sabrina Cassia de, **Adsorção de Nitrogênio Amoniacal de Efluentes Industriais, a Partir da Síntese da Zeólita Na-P1 de Cinzas Pesadas de Carvão**. Canoas. 2013. Dissertação (Mestrado Avaliação de Impactos Ambientais). Centro Universitário La Salle.

CAETANO, Marcelo Oliveira, **Aplicação de reator de chicanas no tratamento de lixiviados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos para remoção de nitrogênio amoniacal por “stripping”**. São Leopoldo. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

CAVALCANTI, Rubem, **Zeólita, o mineral com passado, presente e futuro**. Revista TAE. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/noticialnt.asp?id=5480>>. Acesso em: 18 maio, 2017.

DUARTE, Rosmarina, Pereira, **Resíduos Sólidos: Desafio para a Educação Ambiental**. Canoas, 2003. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização em educação ambiental). Centro Universitário La Salle, 2003.

FIGUEIREDO, Rodrigo dos Santos Figueiredo, **Estudo da adsorção de manganês em batelada e coluna de leito fixo utilizando zeólitas sintéticas**. Ouro Preto. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais), Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4082/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_EstudoAdsor%C3%A7%C3%A3oMangan%C3%AAs.pdf>, Acesso em: 23 maio 2017.

FOUST, A. S. et.al. **Princípios das Operações Unitárias** – Ed LTC, Rio de Janeiro – RJ, 2ª ed. 1982.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha, **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume**. Belo Horizonte. 2002. Dissertação (Mestrado Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/83M.PDF>>. Acesso em: 10 maio. 2017.

LOBO, Rodrigo José Bandeira, **Identificação e uso potencial de zeólitas de rochas da formação serra geral (K INF) da região da Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre. 2013. Graduação Geólogo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARRA, Aline Batista, **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil e em Portugal: Análise Dos Planos De Resíduos Sólidos E Da Disposição Ambientalmente Adequada**. Porto Alegre. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARRA, Aline Batista, Zagonel, Gomes Daiene, Bernardes, Andréa Moura, **Diagnóstico da Disposição final de resíduos sólidos urbanos gerados no estado do Rio Grande do Sul – 2014 e 2015**. 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos – Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas. Instituto Venturi. Porto Alegre. 2016.

MÜLLER, Júlia Marina, **Desenvolvimento de zeólitas por desaluminização para desidratação de álcoois**. Brasília. 2013. 128f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química. Universidade de Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/14039/3/2013_JuliaMarinaMuller_Parcial.pdf>. Acesso em: 23 maio. 2017.

OLIVEIRA, Fabiano Mendonça de, **Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso**. Catalão. 2016. Dissertação (Mestre em Química). Universidade de Goiás. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6241>> . Acesso em: 17 maio. 2017.

PORTELLA, Márcio. Oliveira, RIBEIRO, José. Cláudio. Junqueira. **Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos**. Revista Direito Ambiental e sociedade, v. 4, n. 1, 2014 (p. 115-134). Disponível em: <<http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/3687/2110>>. Acesso em: 11 abr. 2017.



SEFIC2017
UNILASALLE

A PESQUISA E O
RESPEITO À DIVERSIDADE

16 A 20 DE OUTUBRO DE 2017

ISSN 1983-6783

SERAFIM, Aline Camillo, et all. Chorume, **Impactos Ambientais e Possibilidades de Tratamentos**. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Chorume-impactos-ambientais-e-possibilidades-de-tratamento.pdf>>. Acesso em: 06 maio. 2017.

SILVA, Denis Luis da, **Aterros Sanitários para resíduos sólidos urbanos no Rio Grande do Sul**. Ijuí. 2010. Graduação Engenharia Civil. Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: < http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tccitulos/2010/Aterros_Sanitarios_para_Residuos_Solidos_Urbanos_no_Rio_Grande_do_Sul.pdf>. Acesso em: 25 maio.2017

SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito, **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros** – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“atripping”). São Carlos, 2009. 371f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19022009-121756/pt-br.php>>. Acesso em: 10 maio. 2017.

TAKI, Paulo Kiyoshi Filho, **Remoção e recuperação de nitrogênio amoniacal de efluente gerado no processamento do couro**. Londrina. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: < http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1106/1/LD_PPGEA_M_Taki%20Filho%2C%20Paulo%20Kiyoshi_2015.pdf>. Acesso em: 24 maio. 2017.

WASEM, Alexandre, **Remoção de Nitrogênio Amoniacal de efluentes utilizando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão**. Canoas. 2012. Dissertação (Mestrado em Avaliação de impactos ambientais em mineração) - Centro Universitário La Salle.

ZANIN, Thiago Luiz, **Estudo de adsorção de cátions em cerâmica com Zeólita de cinzas de carvão mineral**. Curitiba. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Universidade Federal do Paraná. Disponível em: < <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26709/dissertacao%20thiago%20luis%20zani%20n%20corrigida%20IMPRESSA.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 17 maio. 2017.

ZEN, Barbara Potrich, **Síntese de zeólitas a partir de cinzas de carvão e aplicação como adsorventes**. Porto Alegre. 2016. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.