



SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE ZEÓLITAS A PARTIR DE DUAS DIFERENTES CINZAS VOLANTES DE CARVÃO

Débora Regina Strossi Pedrolo – debora_reginasp@hotmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química
Rua Engenheiro Luiz Englert
90040-040 – Porto Alegre – RS

Luci Kelin de Menezes Quines – kelinquines@yahoo.com.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química

Camila Gomes Flores – camilaflores31@hotmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química

Guilherme de Souza – guidesouza@gmail.com
Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC

Nilson Romeu Marcilio – nilson@enq.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química

Resumo: O aumento da geração de energia por usinas termelétricas tem levado à disposição excessiva de resíduos no ambiente, um desses resíduos são as cinzas volantes resultantes da combustão do carvão. Uma alternativa para o uso destas cinzas é a síntese de zeólitas, porém as características das cinzas variam de uma localidade para outra, influenciando nos processos de síntese. Neste trabalho estudou-se a síntese, por tratamento hidrotérmico em meio alcalino, e caracterização de zeólitas a partir de cinzas volantes de carvão provenientes de duas Minas do RS, Mina de Candiota e Mina do Leão. Hidróxido de potássio (KOH) foi utilizado a 5 M e a relação solução/cinza igual a 2 mL/g. A influência das características das cinzas, como concentração dos compostos precursores e inibidores de zeólitas e a relação Si/Al na formação de zeólitas foram estudadas juntamente com as variáveis de processo, temperatura (100 e 150 °C) e tempo de reação (24 e 72 horas). A caracterização foi feita por FRX (composição química) e MEV (morfologia). Os resultados da caracterização das cinzas apresentaram altos teores dos elementos precursores de zeólitas, SiO_2 e Al_2O_3 , para as duas cinzas volantes. A alta concentração de Fe_2O_3 , inibidor da formação de zeólitas, na cinza do carvão da Mina de Candiota, pode ter influenciado no processo de síntese. A incorporação de K_2O nos produtos de síntese indicam a formação de zeólitas em todos os ensaios. A partir das análises MEV também é possível sugerir a formação de zeólitas a partir das duas diferentes cinzas.

Palavras-chave: Cinzas volantes de carvão, Zeólitas, Síntese hidrotérmica



SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ZEOLITES FROM TWO DIFFERENT COAL FLY ASHES

Abstract: Increased power generation by thermal power plants has led to excessive disposal of waste on the environment, such a waste is the fly ash from the combustion of coal. An alternative to the use of these ashes is the zeolite synthesis, but the characteristics of the ashes vary from one locality to another, influencing the synthesis processes. This paper studied the synthesis, by hydrothermal treatment in an alkaline medium, and characterization of zeolites from coal fly ash from two Mines of RS, Mina de Candiota and Mina do Leão. Potassium hydroxide (KOH) was used to 5 M and the relationship solution/ash to 2 mL/g. The influence of the characteristics of the ash, as the concentration of the precursor compounds and zeolites inhibitors and, Si/Al ratio in the formation of zeolites have been studied together with the process variables, temperature (100 and 150 °C) and reaction time (24 and 72 hours). The characterization was carried by XRF (chemical composition) and SEM (morphology). The characterization results of ash showed high levels of precursors elements of zeolites, SiO₂ and Al₂O₃, for the two fly ash. The high concentration of Fe₂O₃, inhibiting the formation of zeolites in coal ash Mina de Candiota, may have influenced the synthesis process. The incorporation of K₂O in the synthesis product suggested formation of zeolites in all tests. From the SEM analysis it is also possible to suggest the formation of zeolites from the two different ashes.

Keywords: Coal fly ash, Zeolite, Synthesis hydrothermal

1. INTRODUÇÃO

O carvão mineral é responsável por 40 % da produção mundial de eletricidade (WORLD ENERGY COUNCIL, 2013). Previsões em diversos relatórios elaborados por instituições, grupos e organizações internacionais, preocupados com a produção de energia, são unânimes no sentido de que nas próximas duas décadas haverá um aumento no consumo de carvão fóssil, sendo apontado como a mais eminente alternativa para o petróleo, pois apresenta maiores possibilidades para produzir resultados positivos em curto prazo (SUNDSTRON, 2012).

Juntamente com a questão da queima do carvão para geração de energia, está a grande quantidade de resíduos gerados neste processo. Globalmente, mais de 500 milhões de toneladas de cinzas volantes são geradas anualmente nas usinas termelétricas a partir da queima do carvão para geração de energia elétrica (RÍOS *et al.*, 2009). A cinza é responsável por 5-20 wt. % do carvão de alimentação e é tipicamente encontrada sob a forma de cinzas grosseiras de fundo e cinzas volantes finas, que representam 15-30 e 70-85 wt. %, respectivamente (YAO *et al.*, 2014). Neste contexto, o uso e aproveitamento adequados, principalmente das cinzas volantes, têm se tornado objetivo de estudos nas últimas décadas.

No Brasil, as usinas termelétricas estão localizadas na região sul, onde se encontram as maiores reservas de carvão mineral. As cinzas de carvão é o resíduo de maior geração em termos de volume no país. De acordo com Yao *et al.* (2014), a principal aplicação deste resíduo é na produção de concreto e cimento Portland (20 %). Porém, a taxa de utilização é ainda muito inferior à taxa de geração, devido aos altos custos de transporte e baixo valor de mercado do produto, levando à sua disposição irregular em lagoas, minas abandonadas ou aterros, gerando problemas de ordem econômica e ambiental (FUNGARO & IZIDORO, 2008; IZIDORO, 2013). Esta disposição irregular ocasiona problemas ambientais devido aos processos de lixiviação dos compostos tóxicos das cinzas para o solo e contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Devido ao aumento dos custos de disposição, regulações ambientais mais rigorosas e o atual interesse no desenvolvimento sustentável, a efetiva reciclagem das cinzas volantes para a



produção de produtos de maior valor agregado, a fim de mitigar o esgotamento dos recursos e impactos ambientais, tornou-se uma preocupação crescente nos últimos anos (RÍOS *et al.*, 2009). Pesquisas sobre potenciais aplicações deste resíduo tem alta relevância ambiental e adicionalmente, interesse industrial (QUEROL *et al.*, 2002).

Uma alternativa para o uso das cinzas volantes é a síntese de zeólitas, pois estas são compostas basicamente por silício e alumínio, precursores desses materiais. As zeólitas são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos e alcalinos terrosos (principalmente Na, K, Mg, e Ca), estruturados em redes cristalinas tridimensionais, compostas de tetraedros do tipo TO_4 ($T = Si, Al, Ga, Ge, Fe, B, P, Ti, etc$) unidos nos vértices através de átomos de oxigênio (FUNGARO & IZIDORO, 2008).

A síntese é realizada convencionalmente por tratamento hidrotérmico alcalino, geralmente com soluções de hidróxido de potássio (KOH) ou hidróxido de sódio (NaOH). A síntese hidrotérmica consiste na adição de solução alcalina a uma determinada massa de cinza e posterior aquecimento a temperaturas e tempos determinados. O processo de síntese ocorre em três etapas: dissolução das fases de Si e Al presentes nas cinzas; formação de gel a partir dos íons de Al e Si na superfície das partículas de cinzas; e por fim ocorre a cristalização das zeólitas a partir do aluminossilicato formado (IZIDORO, 2013).

A estrutura da zeólita apresenta canais e cavidades interconectadas de dimensões moleculares, nas quais se encontram íons de compensação, moléculas de água ou outros adsorbatos e sais. Este tipo de estrutura microporosa confere à zeólita uma superfície interna muito grande, quando comparada à sua superfície externa, apresentando propriedades de adsorção, capacidade de troca iônica e catálise (FUNGARO & IZIDORO, 2008), permitindo assim a possibilidade de várias aplicações industriais.

O estudo das características físicas, químicas e mineralógicas das cinzas volantes de carvão é de grande importância, pois estas dependem de uma variedade de fatores, incluindo: a composição do carvão que lhes deu origem, as condições de combustão, tipo e eficiência dos sistemas de controle de emissões e os métodos de disposição utilizados (ADRIANO *et al.*, 1980). Portanto, é difícil generalizar acerca da composição e características das cinzas, ou sobre o seu comportamento no ambiente (SUNDSTRON, 2012). Sendo assim, também é difícil generalizar quanto à produção de zeólitas a partir de diferentes cinzas volantes de carvão, visto que a composição das cinzas influencia nas características do material zeolítico formado.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi sintetizar zeólitas, a partir de duas diferentes cinzas volantes, provenientes da combustão do carvão da Mina de Candiota (RS) e da Mina do Leão (RS). A influência das características das cinzas nos materiais zeolíticos sintetizados foi analisada nas mesmas condições de síntese, tempo e temperatura de reação. A síntese foi realizada pelo método de tratamento hidrotérmico alcalino, utilizando solução de hidróxido de potássio comercial e água de abastecimento público, visando tornar o processo mais próximo das condições industriais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Foram utilizadas cinzas leves provenientes do carvão da Mina de Candiota (RS) e da Mina do Leão (RS). As cinzas provenientes do carvão da Mina de Candiota (RS) foram coletadas, em um único lote, diretamente de combustor de leito pulverizado da Usina Termelétrica Presidente Médici, onde a combustão é feita de forma pulverizada com temperaturas de até 1400 °C. As cinzas provenientes do carvão da Mina do Leão foram coletadas, também em um único lote, através da planta de demonstração em leito fluidizado borbulhante, com combustão à temperaturas em torno de 1100 °C, localizada na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), Cachoeirinha-RS. Essa planta de demonstração ficava junto à Usina Termelétrica de São Jerônimo (UTSJ), que está desativada. Os



dois lotes de cinzas foram acondicionados em embalagens plásticas, sem nenhum tratamento prévio. A base utilizada foi o KOH comercial (pureza $\geq 90\%$) da marca HR. As soluções alcalinas foram preparadas utilizando água de abastecimento público da cidade de Porto Alegre (RS). Os recipientes para as reações hidrotérmicas eram reatores cilíndricos de aço-inox com cápsula interna de teflon com volume de 150 mL.

2.2. Síntese de zeólitas

As condições experimentais para síntese de zeólitas estão apresentadas na Tabela 1. Foram realizados 4 ensaios de síntese para cada cinza. A síntese foi realizada por tratamento hidrotérmico alcalino adicionando um determinado volume de solução alcalina a uma massa de cinza diretamente em reator, o qual é submetido a aquecimento por um determinado tempo. A relação solução alcalina/cinzas (v/m) utilizada neste trabalho foi de 2 mL/g, na qual 80 mL de solução foi adicionado a 40 g de cinzas em reator de aço-inox com cápsula interna de teflon de 150 mL. A concentração da base foi de 5 M para todos os ensaios. A conversão das zeólitas foi estudada como uma função da temperatura e tempo de reação. Após o processo de síntese, o material resultante da ativação térmica foi filtrado e lavado em filtro de papel (Qualy, diâmetro de 21 cm, porosidade de 14 μm), no qual o retentado foi lavado com relação 1:2 de água de abastecimento público (160 mL). Por fim, as amostras foram secas a 100 °C por 24 horas.

Tabela 1 - Condições de síntese de zeólitas, com variação na temperatura e tempo de síntese.

Ensaio	[KOH] (mol/L)	T (°C)	Tempo (h)
1	5	100	24
2			72
3		150	24
4			72

2.3. Caracterização das cinzas e do material zeolítico

A análise química elementar das cinzas e dos materiais zeolíticos formados foi determinada por Espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) (Shimadzu, XRF-1800) no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As amostras em pó foram prensadas utilizando-se pastilhas metálicas com ácido bórico (relação massa de amostra/massa de ácido bórico de 1/3), a partir de análise semi-quantitativa.

A avaliação da morfologia das cinzas de carvão e das zeólitas obtidas a partir do tratamento hidrotérmico alcalino, foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As amostras foram dispostas em suporte de alumínio (*Stubs*), fixadas em fita adesiva de carbono, para a metalização com uma fina camada de ouro para torna-las condutoras. A análise foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura, marca Carl Zeiss, modelo EV050, a 20 kV, no Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da UFRGS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das cinzas volantes e dos materiais sintetizados

Foram analisadas a influência das condições de combustão do carvão e composição das cinzas volantes, da temperatura e do tempo de reação no processo de síntese de zeólitas a partir das duas cinzas de carvão. As quantidades dos elementos precursores e inibidores de zeólitas nas cinzas influenciaram no processo de síntese. O aumento da temperatura no processo de síntese pode possibilitar uma maior dissolução das cinzas, disponibilizando assim os elementos formadores das

zeólitas (Si e Al) mais facilmente. Segundo Li *et al.* (2014) o tempo de reação também influencia no tipo de zeólita que é sintetizada, sendo possível, por exemplo, sintetizar um tipo de zeólita em 24 h e outro em 72 h. No entanto, no presente trabalho ainda não se pode avaliar essa influência, pois é necessária a realização da análise de difração de raios X (DRX) para a determinação dos tipos de fases zeolíticas formadas.

Os resultados da análise química por fluorescência de raios X das cinzas volantes e dos materiais sintetizados estão apresentados na Tabela 2. Como se pode observar as duas cinzas são compostas principalmente de óxido de silício (SiO_2) e óxido de alumínio (Al_2O_3), sendo aproximadamente 85 % para a cinza do carvão da Mina de Candiota e 82 % para a cinza do carvão da Mina do Leão. A síntese de zeólitas ocorre por matéria-prima com predominância destes elementos, visto que Si e Al são os seus precursores. Sendo assim, estes materiais são potenciais matérias-primas para a síntese de zeólitas.

Tabela 2 - Composição química das cinzas volantes e dos produtos zeolíticos sintetizados a partir de cinzas de carvão da Mina de Candiota (CMC) e da Mina do Leão (CML). 1: 100 °C e 24 h; 2: 100 °C e 72 h; 3: 150 °C e 24 h; 4: 150 °C e 72 h.

Composição química	Concentração (%)									
	Cinza (CMC)	1	2	3	4	Cinza (CML)	1	2	3	4
SiO_2	67,13	48,71	45,22	47,92	46,76	60,77	40,67	46,17	40,80	45,87
Al_2O_3	17,85	15,07	14,55	12,69	11,32	21,04	14,34	16,51	14,83	15,54
Fe_2O_3	7,38	7,12	7,41	7,05	6,93	3,15	2,75	2,55	2,44	2,93
K_2O	2,32	16,27	18,36	18,82	20,61	1,84	20,09	16,49	19,63	21,22
CaO	2,13	1,97	1,97	1,83	1,83	2,22	1,13	1,17	1,07	1,36
TiO_2	0,91	0,85	0,89	0,84	0,86	1,32	0,96	1,03	0,87	1,11
SO_3	0,76	0,06	0,09	0,07	0,08	0,90	0,22	0,17	0,20	0,22
MgO	0,54	0,48	0,45	0,42	0,41	0,24	0,14	0,16	0,13	0,17
MnO	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,03	-	-	0,02	-
ZrO_2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,09	0,05	0,06	0,05	0,07
ZnO	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
SrO	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
Rb_2O	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Y_2O_3	0,01	0,02	-	-	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
CO_2	0,55	9,25	10,86	10,18	11,01	8,12	19,51	15,49	19,86	11,04
Na_2O	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_2O_5	0,10	-	-	-	-	0,06	0,03	0,04	-	-
Cr_2O_3	-	-	-	-	-	0,06	-	0,05	-	-
NiO	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	-	-
Gd_2O_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3343
CuO	-	-	-	-	-	0,02	-	-	0,02	-
Si/Al	3,32	2,86	2,75	3,33	3,65	2,55	2,50	2,47	2,43	2,61

A concentração do óxido de ferro (Fe_2O_3) nas cinzas do carvão da Mina do Leão foi consideravelmente mais baixa à da cinza do carvão de Candiota, sendo 3,15 % e 7,38 %, respectivamente. Já a concentração de óxido de cálcio (CaO) foi um pouco maior para a cinza do



carvão da Mina do Leão, 2,22 %, e 2,13 % para a cinza do carvão de Candiota. Estes óxidos são inibidores do processo de zeolitização, pois se encontram na superfície das cinzas impedindo a dissolução do silício e alumínio e a cristalização das zeólitas (CARDOSO *et al.*, 2015). Neste caso, a síntese de zeólita a partir da cinza do carvão da Mina de Candiota pode ser dificultada, devido a esta conter altos teores de Fe_2O_3 . Porém, a razão Si/Al da cinza do carvão de Candiota é maior à da cinza do carvão da Mina do Leão, 3,32 e 2,55, respectivamente, o que pode facilitar o processo de síntese pela maior dissolução de SiO_2 e Al_2O_3 em solução para formação de aluminossilicato e cristalização da zeólita. De acordo com Rocha Junior *et al.* (2012), uma razão Si/Al igual a 2,12 é considerada relativamente baixa para a síntese de vários tipos de zeólitas. Conforme Lacerda (2015) esta razão pode determinar o tipo de zeólita que será formada. Quanto maior a razão Si/Al, maior será sua resistência a ácidos e sua estabilidade térmica, favorecendo seu uso em catálise. A diminuição da razão Si/Al faz aumentar o teor de cátions, favorecendo processos de adsorção e troca catiônica, produzindo assim um adsorvente hidrofílico. As características do carvão, o processo de combustão em que as cinzas são geradas e as condições de síntese como tempo e temperatura também são fatores que influenciam fortemente na formação das zeólitas.

Dependendo das condições experimentais e da composição química das cinzas utilizadas, obtêm-se diferentes tipos de zeólitas, com diferentes relações Si/Al. Pode-se observar que em todos os ensaios, as relações Si/Al dos materiais zeolíticos sintetizados a partir das cinzas do carvão da Mina de Candiota foram maiores que dos materiais zeolíticos sintetizados a partir das cinzas do carvão da Mina do Leão. Isto já era uma característica esperada, visto que os seus materiais precursores também apresentam esta diferença. É importante salientar que somente o Si e Al participam da reação de zeolitização.

As concentrações de K_2O nos produtos de síntese das cinzas de carvão da Mina de Candiota variaram de 16,27 % a 20,61 %. Nos produtos de síntese das cinzas de carvão da Mina do Leão as concentrações foram maiores, variando de 16,49 % a 21,22 %.

Pelo aumento das concentrações de K_2O nos produtos de síntese também é possível sugerir a formação de zeólitas a partir das duas cinzas de carvão, pela incorporação de cátions de compensação K^+ no material zeolítico, a partir da solução alcalina de KOH. Nos ensaios 1, nas condições de 100 °C e 24 h, a cinza do carvão da Mina do Leão apresentou um maior aumento de concentração deste composto no material sintetizado, 20,09 %, contra 16,27 % no material sintetizado a partir da cinza do carvão da Mina de Candiota. Os ensaios 3 e 4, com condições de síntese de 150 °C, 24 h e 72 h, também apresentaram maiores concentrações de K_2O nos materiais sintetizados a partir da cinza de carvão da Mina do Leão. Já nos ensaios 2, com temperatura de 100 °C e tempo de reação de 72 h, a maior concentração de K_2O foi conferida ao material zeolítico sintetizado a partir da cinza de carvão da Mina de Candiota.

A imagem de micrografia eletrônica de varredura da cinza de carvão de Candiota (Figura 1.a) apresenta partículas esféricas de tamanhos variáveis e partículas de carvão não queimado. A cinza do carvão da Mina do Leão (Figura 1.b) não apresenta partículas esféricas, apresentando uma estrutura disforme. Conforme Ferret (2004), quanto maior a temperatura de combustão, maior tendência à formação de partículas esféricas nas cinzas volantes. Neste caso, a combustão do carvão da Mina de Candiota ocorre a temperaturas mais elevadas, ocasionando assim a formação de partículas esféricas.

De acordo com Izidoro (2013), as cinzas de carvão apresentam morfologias compostas por partículas irregulares e de tamanhos variados, isso se deve aos diferentes estados físicos da sílica presente nas amostras, o mesmo é observado no presente estudo na micrografia da cinza, um aglomerado de partículas compactadas de diferentes tamanhos e formas.

As Figuras 2 e 3 apresentam as imagens MEV dos materiais sintetizados a partir das cinzas volantes do carvão da Mina de Candiota e da Mina do Leão, respectivamente. É possível observar que houve mudança de morfologia em todos os ensaios comparados com as cinzas. Na Figura 2, estruturas regulares são observadas no ensaio 4 (150 °C e 72 h), indicando a formação de zeólitas nestas condições, partículas irregulares também são observadas. Nos ensaios 1 (100 °C e 24 h), 2 (100

°C e 72 h), e 3 (150 °C e 24h), observa-se formas irregulares, indicando um possível início de reação, porém, as condições de síntese destes ensaios podem não terem sido suficientes para que houvesse a total reação de síntese.

Na Figura 3, ensaios 1 (100 °C e 24 h), 3 (150 °C e 24h) e 4 (150 °C e 72 h), se pode observar a formação de cristais regulares característicos de materiais zeolíticos, sugerindo a formação de zeólitas por tratamento hidrotérmico a partir das cinzas volantes do carvão da Mina do Leão. No ensaio 2 (100 °C e 72 h) não é possível identificar a presença de estruturas definidas, sugerindo também que as condições de síntese não foram suficientes para o processo de síntese.

Figura 1 - Imagens MEV das cinzas volantes: a) cinza volante do carvão da Mina de Candiota, b) cinza volante do carvão da Mina do Leão (5.000 x).

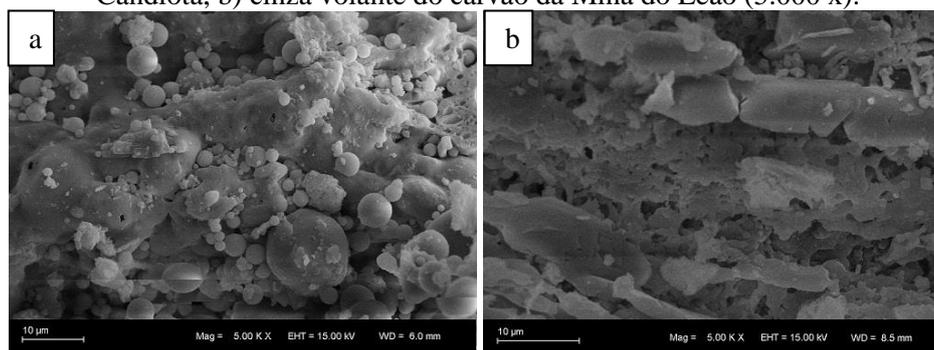


Figura 2 - Imagens MEV dos materiais zeolíticos obtidos a partir das cinzas volantes do carvão de Candiota (RS) (5.000 x). 1: 100 °C e 24 h; 2: 100 °C e 72 h; 3: 150 °C e 24 h; 4: 150 °C e 72 h.

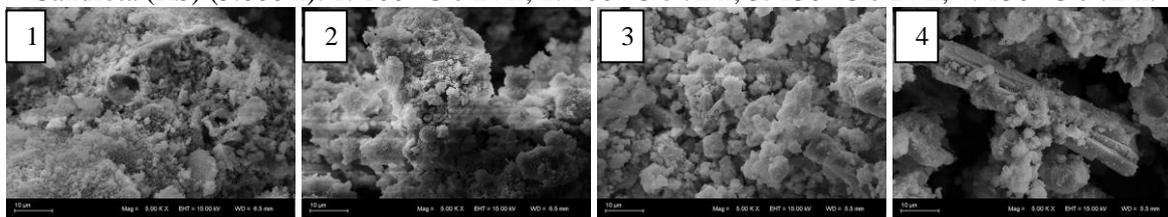
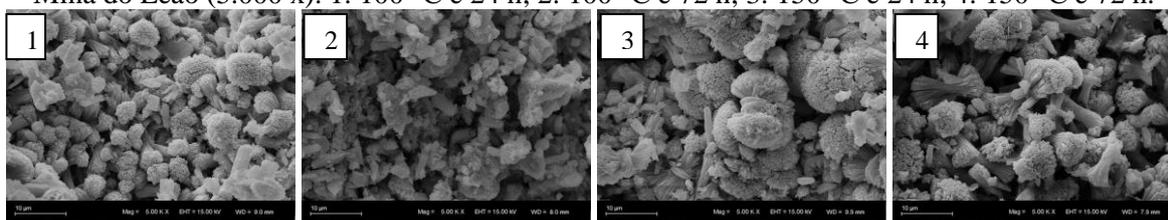


Figura 3 - Imagens MEV dos materiais zeolíticos obtidos a partir das cinzas volantes do carvão da Mina do Leão (5.000 x). 1: 100 °C e 24 h; 2: 100 °C e 72 h; 3: 150 °C e 24 h; 4: 150 °C e 72 h.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos é possível afirmar que zeólitas podem ser sintetizadas, a partir das cinzas volantes provenientes da combustão do carvão da Mina de Candiota (RS) e da Mina do Leão (RS), por processo de tratamento hidrotérmico utilizando como base KOH comercial e água de abastecimento público. As duas cinzas volantes utilizadas neste trabalho apresentam boas concentrações de óxidos de sílcio e alumínio, sendo da cinza do carvão da Mina de Candiota em torno



de 85 % e da Mina do Leão em torno de 82 %. Estas concentrações tornam estas cinzas potenciais matérias primas para a síntese de zeólitas, visto que os seus principais constituintes são os precursores das zeólitas. As características das cinzas, como concentração dos componentes inibidores Fe_2O_3 e CaO , concentração inicial de K_2O e relação Si/Al influenciaram no processo de síntese, ficando evidente que o processo de síntese não depende apenas das variáveis de processo, como temperatura e tempo de reação. O aumento das concentrações de K_2O nos produtos de síntese confirma a incorporação de cátions de compensação K^+ para formação de zeólitas. As imagens MEV sugerem a formação de zeólitas nos ensaios 1 (100 °C e 24 h), 2 (100 °C e 72 h), e 3 (150 °C e 24h) a partir das cinzas volante do carvão da Mina do Leão. Para as cinzas volantes do carvão da Mina de Candiota, as imagens MEV sugerem a formação de zeólitas no ensaio 4 (150 °C e 72 h), onde é possível observar uma estrutura regular e bem definida. A identificação das zeólitas obtidas nas diferentes condições de síntese estudadas será realizada a partir da análise de difração de raios X (DRX).

REFERÊNCIAS

ADRIANO, D. C.; PAGE, A. L.; ELSEEWI, A. A.; CHANG, A. C.; STRAUGHAN, I. Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. **Journal Environmental Quality**, v. 9, n. 3, p. 333-334, 1980.

CARDOSO, A. M.; HORN, M. B.; FERRET, L. S.; AZEVEDO, C. M. N.; PIRES, M. Integrated synthesis of zeolites 4A and Na-P1 using coal fly ash for application in the formulation of detergents and swine wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 287, p. 69-77, 2015.

FERRET, L. S. **Zeólitas de cinzas de carvão: síntese e uso**. Porto Alegre, 154 p., 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C. Modelagem cinética da remoção de Cd^{2+} por zeólitas de cinzas de carvão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 16, p. 9-13, 2008.

IZIDORO, J. C. **Síntese e caracterização de zeólita pura obtida a partir de cinzas volantes de carvão**. São Paulo, 148 p., 2013. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia associada à Universidade de São Paulo.

LACERDA, L. V. **Síntese e caracterização de zeólita tipo sodalita obtida a partir de cinzas volantes de carvão mineral utilizado na usina termoeletrica de Candiota-RS**. Porto Alegre, 66 p., 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LI, J.; ZHUANG, X.; FONT, O.; MORENO, N.; VALLEJO, V. R.; QUEROL, X.; TOBIAS, A. Synthesis of merlinoite from Chinese coal fly ashes and its potential utilization as slow release K-fertilizer. **Journal of Hazardous Materials**, v. 265, p. 242-252, 2014.

QUEROL, X.; MORENO, N.; UMAÑA, J. C.; ALASTUEY, A.; HERNÁNDEZ, E.; LÓPEZ-SOLER, A.; PLANA, F. Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. **International Journal of Coal Geology**, v. 50, p. 413-423, 2002.

ROCHA JUNIOR, C. A. F.; SANTOS, S. C. A.; SOUZA, C. A. G.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F. Síntese de zeólitas a partir de cinza volante de caldeiras: caracterização física, química e mineralógica. **Cerâmica**, v. 58, p. 43-52, 2012.



RÍOS, C. A.; WILLIAMS, C. D.; ROBERTS, C. L. A comparative study of two methods for the synthesis of fly ash-based sodium and potassium type zeolites. **Fuel**, v. 88, p. 1403-1416, 2009.

SUNDSTRON, M. G. **Caracterização e avaliação das cinzas da combustão de carvão mineral geradas na região do Baixo Jacuí – RS**. Canoas, 121 p. 2012. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário La Salle.

WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Resources. Inglaterra e País de Gales. 2013.

YAO, Z. T.; XIA, M. S.; SARKER, P. K.; CHEN, T. A review of the alumina recovery from coal fly ash, with a focus in China. **Fuel**, v. 120, p. 74-85, 2014.

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES