

## **Influência do tempo de reação e do teor de sódio na síntese da zeólita 4A e obtenção da fase zeolítica 5A através da troca catiônica**

### **Influence of reaction time and sodium content on the synthesis of zeolite 4A and obtaining the zeolitic phase 5A through cation exchange**

DOI:10.34117/bjdv7n2-012

Recebimento dos originais: 02/01/2021

Aceitação para publicação: 02/02/2021

#### **Emerson Cardoso Rodrigues**

Doutor em engenharia de Recursos Naturais da Amazônia.  
Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Guamá, Belém - PA  
Email: mersone7@yahoo.com.br

#### **Bruno Maués Farias**

Mestre em engenharia Mecânica  
Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Guamá, Belém - PA  
Email: brunomauesfarias@gmail.com

#### **Felipe Vieira Ladislau**

Graduando Eng. Civil  
Universidade da Amazônia  
Endereço: Condomínio São Francisco, Apto. 301, Batista Campos, Belém - PA  
Email: felipeladislauvieira@gmail.com

#### **José Antônio da Silva Souza**

Doutor em engenharia de recursos naturais da Amazônia.  
Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Guamá, Belém - PA  
Email: jass@ufpa.br

#### **Emanuel Negrão Macêdo**

Doutor em engenharia Mecânica  
Universidade Federal do Pará  
Endereço: Rua Augusto Correa, 01, Guamá, Belém - PA  
Email: enegrao@ufpa.br

### **RESUMO**

Este trabalho objetiva sintetizar zeólita tipo "A" utilizando como matéria-prima caulim de enchimento. A síntese das Zeólitas foi realizada em curto tempo e sem agitação. Os materiais de partida e o produto obtido foram identificados e caracterizados por Difração de Raios X (DRX), Espectrometria de Fluorescência de Raios X, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). No processo de síntese foi utilizado como fonte de sílica e alumina

o metacaulim, que foi calcinado na temperatura de 600 °C, por 2 horas de patamar de queima em um forno tipo mufla. Como fonte de sódio se utilizou uma solução de hidróxido de sódio 5 M, no sistema também foi adicionado água destilada. Foram realizadas diversas sínteses no interior de uma estufa a 110 °C. A variação no tempo de reação e no teor de sódio foram as variáveis estudadas no processo. Os resultados da síntese da zeólita A se mostraram satisfatório, principalmente no tempo de 10 h e com a relação Al/Na = 0,57. O tempo de reação e a quantidade de sódio são diretamente proporcionais à formação de outra fase zeolítica denominada hidroxissodalita. A partir da zeólita A, por troca iônica com uma solução de cloreto de cálcio foi possível obter a zeólita 5A sem agitação.

**Palavras-chave:** Caulim, metacaulim, síntese, zeólita A.

### **ABSTRACT**

This work aims to synthesize zeolite type "A" using as raw kaolin filler. The synthesis of zeolites was performed in a short time and without agitation. The starting materials and the product were identified and characterized by X ray Diffraction (XRD), Fluorescence Spectrometry, X Ray, Scanning Electron Microscopy (SEM). In the synthesis process was used as the silica source and the alumina metakaolinite, which has been calcined at a temperature of 600 °C for 2 hours threshold firing in a muffle type furnace. As a source of sodium was used a solution of sodium hydroxide 5 M in the system was also added distilled water. Various syntheses were performed inside an oven at 110 °C. The variation in reaction time and sodium content were the variables in the process. The results of the synthesis of zeolite A proved satisfactory, especially in time of 10 h with a ratio Al / Na = 0.57. The reaction time and amount of sodium are directly proportional to the formation of another phase called zeolitic Hydroxysodalite. From the zeolite A, by ion exchange with a solution of calcium chloride was obtained zeolite 5A without agitation.

**Keywords:** Kaolin, metakaolinite, synthesis, zeolite A.

## **1 INTRODUÇÃO**

A extração mineral é muito antiga no Brasil, porém no passado essa extração era feita de maneira rudimentar, pois não havia tecnologia necessária para grandes projetos. Hoje, com o avanço tecnológico e o crescimento populacional a produção mineral no Brasil atinge números bastante expressivos e se torna economicamente indispensável para o desenvolvimento do país. Porém junto ao desenvolvimento mineral, também iniciou a avaliação das empresas mineradoras em virtude da degradação do meio ambiente.

Assim, a necessidade de grandes áreas de armazenagem para a deposição de rejeitos tanto enfatizada pelos ambientalistas, fez com que pesquisadores do mundo todo buscassem meios de utilizar os materiais estocados nessas indústrias, e uma dessas alternativas é a diminuição da deposição do rejeito de caulim por meio da síntese de zeólitas, visto que a produção brasileira de caulim beneficiado em 2010 no Brasil

alcançou aproximadamente 2.400 milhões de toneladas, apresentando crescimento em relação ao ano anterior, que foi de 2.030 (Instituto Brasileiro de Mineração 2010). De forma análoga, somente o estado do Pará produziu 94% de caulim beneficiado em todo o Brasil, correspondendo assim a uma quantidade de rejeito caulínico gerado de aproximadamente 586.560 mil toneladas (MAIA, 2011).

As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos de larga aplicação industrial devido às suas propriedades físicas e químicas, as quais favorecem sua utilização como peneiras moleculares, trocadores iônicos, catalisadores e adsorventes (BRECK, 1973). Elas podem ser geradas naturalmente em amígdalas e cavidades de rochas vulcânicas máficas (CETEM, 2005).

Este artigo tem o objetivo principal analisar o tempo reação e concentração de “Na” na síntese da zeólita a partir do caulim, que é fundamentado em dois processos, o primeiro denominado de calcinação, que é a desidroxilação da caulinita, que produz um material amorfo, o metacaulim, e o segundo processo, que é a síntese hidrotermal, quando o metacaulim reage com hidróxido de sódio e água destilada para que ocorra o processo de cristalização.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As condições adotadas para o método de síntese da zeólita A seguem metodologia baseada nos estudos realizados por Farias (2020) e Rodrigues (2010), os quais a sintetizaram com elevado grau de pureza, utilizando como matéria-prima de partida: metacaulim, hidróxido de sódio e água destilada.

O material de partida (fonte de silício e alumínio), foi adquirido a partir do processo de beneficiamento do caulim produzido pela Imerys Rio Capim Caulim S/A – IRCC, localizada no município de Barcarena, no estado do Pará.

Esse caulim foi submetido a um processo de calcinação em vasos de argila, realizado em forno tipo mufla (Quimis) na temperatura de 600°C por 2 horas no patamar de queima para a completa desidroxilação do material, sendo esta confirmada através da perda de massa e por Difração de Raios X. Tal procedimento foi realizado para evitar a formação de feldspatóides hidratados decorrentes da mistura do caulim não calcinado com hidróxido de sódio (BRECK, 1973).

A solução aquosa de hidróxido de sódio foi preparada no laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará a uma concentração de 5 Molar utilizando-se hidróxido de sódio PA (comercializado pela Casa da Química Industrial e Comércio Ltda) e água destilada.

Para a síntese das zeólitas utilizou-se quatro composições molares para a seguinte relação:  $\text{Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : 2\text{SiO}_2 : n\text{H}_2\text{O}$  na mistura reacional para a obtenção do material zeolítico, com o objetivo de sintetizar a zeólita A na temperatura de  $110^\circ\text{C}$ , determinada com base nos resultados de Rodrigues (2010), com variação na quantidade de sódio e no tempo de síntese. Os ensaios experimentais foram realizados em triplicata. Foram adicionadas 1,75g de metacaulim, diferentes volumes da solução de NaOH 5 M (5,2 mL, 5,6 mL, 5,8 mL e 6,0 mL) e 20 mL de água destilada em autoclaves com volumes aproximados de  $47,89 \text{ cm}^3$  (figura 1). Essa mistura foi vedada hermeticamente e submetida ao aquecimento em estufa para esterilização e secagem (Medicate MD 1.3) na temperatura de  $110^\circ\text{C}$  por tempos diferentes (10 horas, 12 horas, 14 horas, 16 horas, 18 horas e 20 horas), sendo posteriormente resfriadas sob água corrente até atingir a temperatura ambiente, e em seguida filtradas através de erlenmeyers, funis e papel de filtro. Também foi realizada uma lavagem no material com 800 mL de água para tornar seu pH neutro.

Figura 1: Autoclave usada na síntese das zeólitas



Terminada a etapa de obtenção da zeólita A, elas foram submetidas, juntamente com o caulim, à caracterização por Difração de Raios X (DRX), Espectrometria de Fluorescência de Raios X, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), das quais as duas últimas não são apresentadas neste trabalho. A nomenclatura dos produtos é apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Nomenclatura das zeólitas sintetizadas

Relação Al/Na	Tempo de Reação (h)	Zeólita A
0,57	10	ZA – 0,57 -10
0,57	12	ZA – 0,57 -12
0,57	14	ZA – 0,57 -14
0,57	16	ZA – 0,57 -16
0,57	18	ZA – 0,57 -18
0,57	20	ZA – 0,57 -20
0,53	10	ZA – 0,53 -10
0,53	12	ZA – 0,53 -12
0,53	14	ZA – 0,53 -14
0,53	16	ZA – 0,53 -16
0,53	18	ZA – 0,53 -18
0,53	20	ZA – 0,53 -20
0,51	10	ZA – 0,51 -10
0,51	12	ZA – 0,51 -12
0,51	14	ZA – 0,51 -14
0,51	16	ZA – 0,51 -16
0,51	18	ZA – 0,51 -18
0,51	20	ZA – 0,51 -20
0,50	10	ZA – 0,50 -10
0,50	12	ZA – 0,50 -12
0,50	14	ZA – 0,50 -14
0,50	16	ZA – 0,50 -16
0,50	18	ZA – 0,50 -18
0,50	20	ZA – 0,50 -20

O método utilizado para o preparo da solução de cloreto de cálcio foi semelhante ao adotado por Santos (2011).

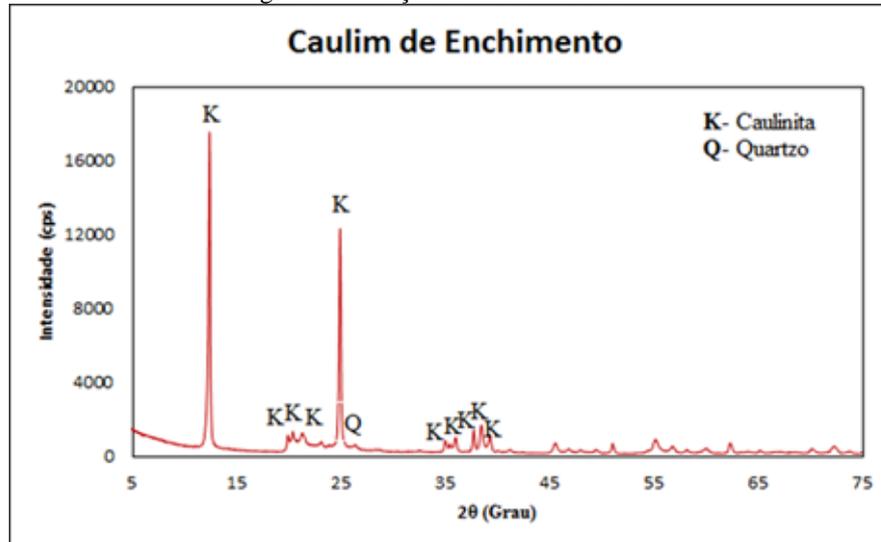
O processo de síntese da zeólita 5 por meio de troca iônica foi o mesmo que o utilizado para a síntese estática de zeólita A, ou seja, foi depositado 1g do produto zeolítico em autoclaves, adicionando posteriormente 30 ml de uma solução de CaCl<sub>2</sub> através de reatores fechados que foram aquecidos a 95°C durante os períodos de 24, 36 e 48 horas. Os produtos da troca iônica decorrente do aquecimento foram então posteriormente lavados e filtrados com água destilada, sendo por fim secos em uma estufa (durante 6 horas) e caracterizados por difração de raios-X.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 DIFRAÇÃO DOS X DO CAULIM

O difratograma do caulim de enchimento é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Difração de raios X do caulim



O resultado do ensaio com difração de raios X mostrou que o caulim de enchimento utilizado é constituído essencialmente por caulinita, com dois picos principais: 7,15 Å e 3,57 Å (PDF 14-0164), também apresentando dois picos de quartzo (PDF 05-0490) dos quais se destaca o pico de 4,26 Å, sendo os outros de menores intensidades que os da caulinita.

#### 3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CAULIM (FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X)

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química e da perda ao fogo do caulim de enchimento.

A Comparação entre os valores teóricos do caulim com os do caulim de enchimento mostra que a diferença nos teores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> acontece pela presença de impurezas no material.

Os resultados dos teores de SiO<sub>2</sub> (47,08 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (37,32 %) e perda ao fogo (14,36 %) estão muito próximos do teórico apresentado pela caulinita, indicando que esse material é essencialmente constituído pelo argilomineral caulinita e apresenta apenas 1,24 % de impurezas.

Tabela 2: Composição Química do caulim

Óxidos	Concentração (%)	Valores Teóricos (%)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,32	39,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,53	-
Na <sub>2</sub> O	0,19	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	-
SiO <sub>2</sub>	47,08	46,51
TiO <sub>2</sub>	0,42	-
Perda ao Fogo	14,36	13,95
Total	100	100

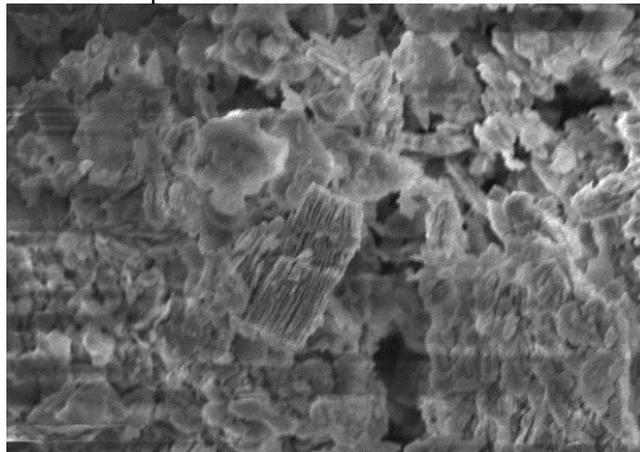
Em relação ao teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, observa-se que este valor está 2,63 % abaixo do teórico da caulinita. Já no que se refere à perda ao fogo os valores são aproximados.

O percentual (0,53%) de óxido de ferro não foi identificado pela difração de raios X. Quanto ao teor de TiO<sub>2</sub> (0,42 %), mesmo estando em baixa concentração, indica que ele está bem cristalizado e está presente na amostra que foi analisada na forma de anatásio.

### 3.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DO CAULIM E DO CAULIM CALCINADO

A microscopia eletrônica de varredura do caulim de enchimento é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Microscopia eletrônica de varredura do caulim de enchimento

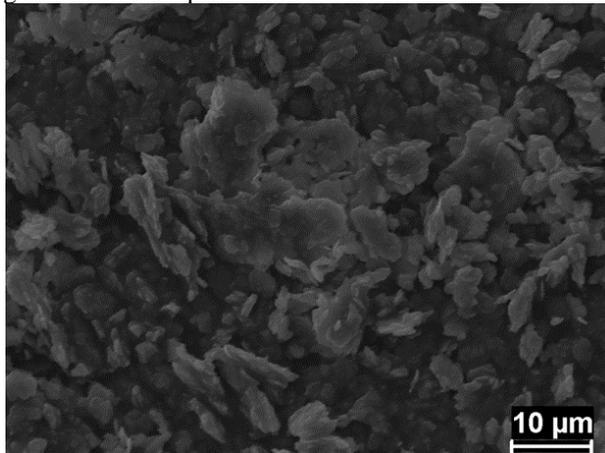


Nela pode-se observar que a caulinita apresenta uma morfologia pseudo-haxagonal. Deve-se enfatizar também o empilhamento dessas partículas, de baixa espessura e tamanhos diversificados.

O formato de sanfona do rejeito do caulim deve-se ao processo de delaminação, ao qual o rejeito de caulim foi submetido, logo após o processo de centrifugação (MORAES, 2010).

A microscopia eletrônica de varredura do metacaulim, obtido a partir da calcinação do caulim de enchimento é apresentada na Figura 4. Sua morfologia assim como a do caulim, é pseudo-hexagonal com partículas bastante aglomeradas.

Figura 4: Microscopia eletrônica de varredura do metacaulim

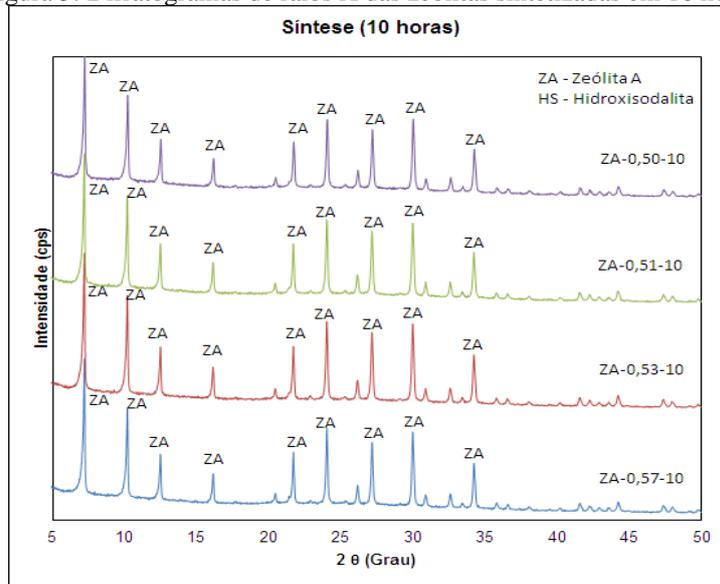


### 3.4 DIFRAÇÃO DAS ZEÓLITAS A

Os difratogramas das zeólitas A especificadas na Tabela 1 são apresentados nas figuras 5,6,7,8,9 e 10, eles demonstram que o tempo de síntese e quantidade de sódio influenciam na formação dos cristais, assim como na formação de outra fase zeólica, a hidroxisodalita. Vale ressaltar também que, em todas as condições ocorreu a síntese hidrotermal e que a questão a ser discutida é a influência das diferentes concentrações de sódio no material produzido, que influenciam na formação da fase sodalita.

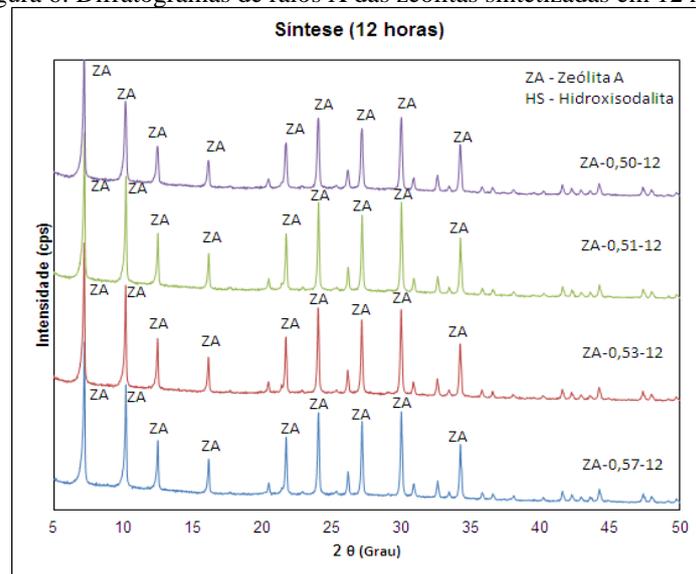
A zeólita A com tempo igual a 10 horas (figura 5) e relação Al/Na igual a 0,57 (quantidade de sódio igual 5,2 mL) apresentou o difratograma com picos intensos e bem delineados, indicando a formação da zeólita A com quase nenhuma presença de sodalita.

Figura 5: Difratogramas de raios X das zeólitas sintetizadas em 10 horas



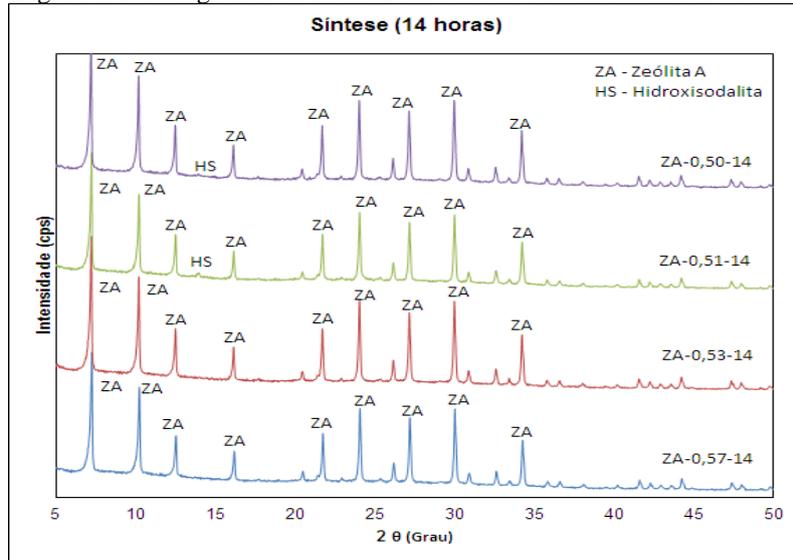
Para as zeólitas sintetizadas no tempo de 12 (Figura 6) horas pode-se perceber que o aumento do tempo de síntese provocava um aumento das condições de formação da sodalita, principalmente quando se associa ao fator quantidade de sódio.

Figura 6: Difratogramas de raios X das zeólitas sintetizadas em 12 horas



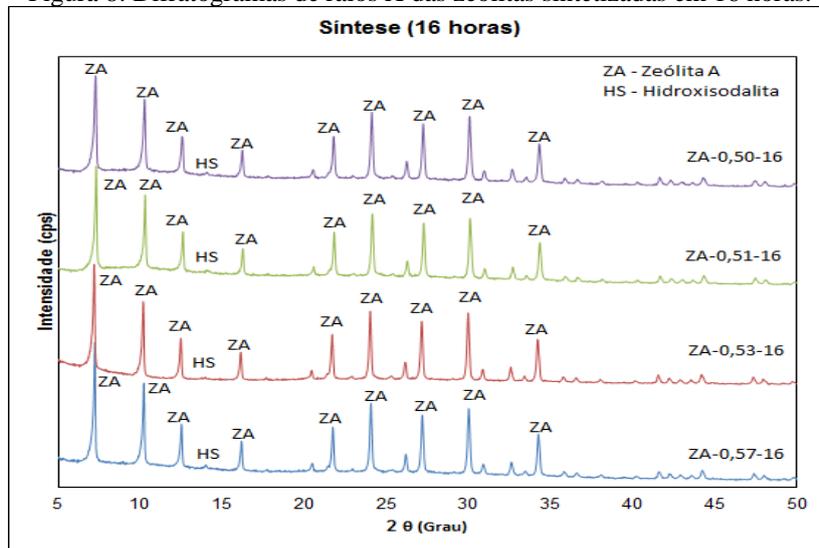
Na Figura 7, estão presentes os difratogramas das zeólitas sintetizadas no tempo de 14 horas. A condição para esse tempo de síntese mostrou que com as quantidades de sódio igual a 5,8 mL e 6,0 mL apresentaram picos da fase sodalita. Ou seja, em termos de relação Al/Na, essas quantidades de sódio utilizadas representam 0,51 e 0,50 respectivamente.

Figura 7: Difratogramas de raios X das zeólitas sintetizadas em 14 horas.



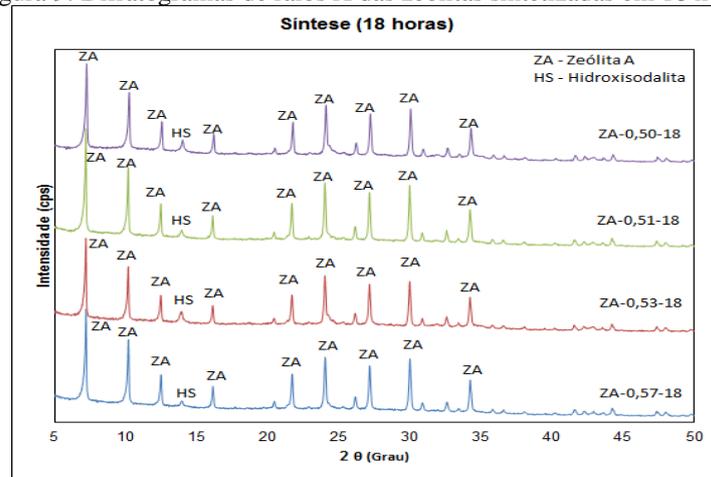
Os difratogramas do material sintetizado para o tempo de 16 horas (Figura 8) apresentam picos de sodalita em todos os valores de sódio, o que revela que a partir dele a fase sodalita estará presente.

Figura 8: Difratogramas de raios X das zeólitas sintetizadas em 16 horas.



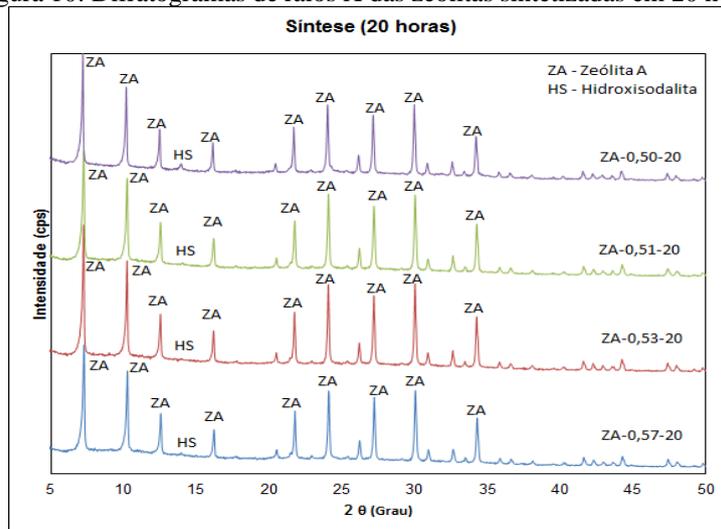
Os picos de sodalita mais evidentes são encontrados no tempo de 18 horas (figura 9), onde as quantidades de sódio adotadas se mostraram como uma melhor condição na formação da zeólita hidroxisodalita.

Figura 9: Difratogramas de raios X das zeólitas sintetizadas em 18 horas.



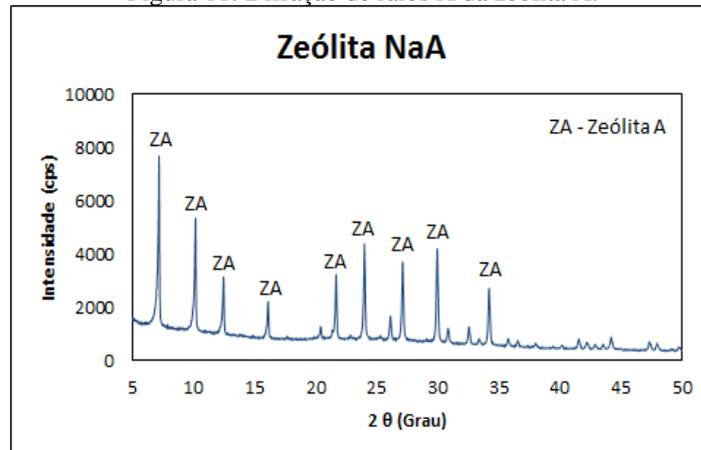
Na Figura 10, embora os picos da fase sodalita possuam menor intensidade em relação ao visto no tempo de síntese de 18 horas, a síntese das zeólitas em 20 horas também apresentam significativos picos que caracterizam a formação desse material.

Figura 10: Difratogramas de raios X das zeólitas sintetizadas em 20 horas.



A Figura 11 apresenta o difratograma de raios X da zeólita A sintetizada com 5,2 ml de NaOH ( $Al/Na = 0,57$ ) em um tempo de 10 horas. O material zeolítico sintetizado apresenta picos estreitos e bem delineados. Portanto, para essas condições, a formação da zeólita A ocorrerá de uma forma significativa quando se utilizar metacaulim como fonte de Si e Al.

Figura 11: Difração de raios X da zeólita A.



### 3.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DAS ZEÓLITAS A

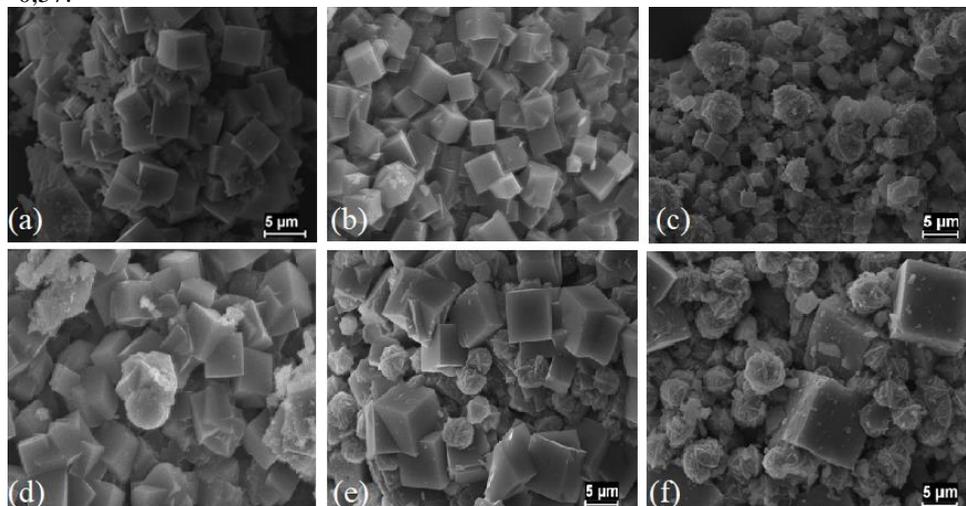
As micrografias eletrônicas de varreduras da zeólita A sintetizada a 110 °C com tempos de 10, 12, 14, 16 e 20 horas são apresentadas na figuras 12.

A Figura 12 (a) apresenta uma grande quantidade de cristais aglomerados e ainda pequenas porções de caulinita que não reagiu durante o tempo de síntese. Já a Figura 12 (b), apresenta cristais com morfologia cúbica e servem como prova de que o material produzido é zeólita A.

Na figura 12 (c) é possível notar a presença de cristais cúbicos característicos da zeólita A e a presença da zeólita sodalita na forma mais arredondada.

Na figura 12 (d) no centro da imagem se observa a transformação de um cristal cúbico da zeólita A em um cristal com morfologia compatível ao da zeólita sodalita

Figura 12: Micrografia da zeólita A (a) sintetizada em 10 horas com Al/Na = 0,57; (b) sintetizada em 10 horas com Al/Na = 0,53; (c) sintetizadas em 12 horas com Al/Na = 0,57; (d) sintetizadas em 14 horas com Al/Na = 0,53; (e) sintetizadas em 16 horas com Al/Na = 0,57; (f) sintetizadas em 20 horas com relação Al/Na = 0,57.



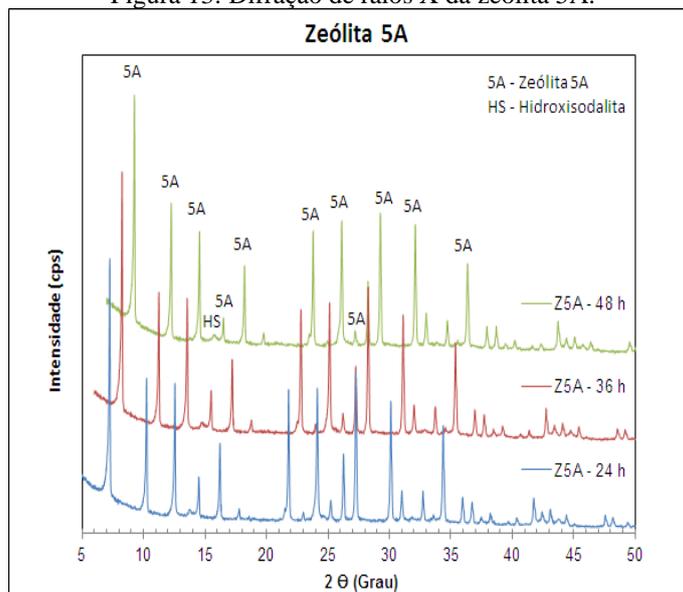
Na figura 12 (e) é possível observar a presença de sodalita em meio aos cristais cúbicos da zeólita A.

A diferença entre os tamanhos dos cubos da zeólita A e o material sodalita visto na figura 12 (f) evidencia o motivo de haver picos característicos da zeólita A com um pequeno pico da zeólita hidroxisodalita nas análises de difração de raios X.

### 3.6 DIFRAÇÃO DA ZEÓLITA 5A

Os resultados da difração de raios X dos produtos obtidos com a troca iônica são apresentados na Figura 13. Eles mostram os difratogramas da zeólita 5A produzida em diferentes tempos de troca iônica (24 horas, 36 horas e 48 horas). As intensidades dos picos não apresentam diferenças significativas, mostrando que não há necessidade de um longo período para a troca iônica, ou seja, os fatores que mais influenciam são as quantidades de zeólita 4A e solução de CaCl<sub>2</sub> presente no sistema de reação.

Figura 13: Difração de raios X da zeólita 5A.



## 4 CONCLUSÕES

Observou-se, em relação à calcinação do caulim (na temperatura de 600 °C), como fase principal, o metacaulim. Isto é, a ocorrência do processo de desidroxilação, ou seja, a formação de um material amorfo.

Os difratogramas de raios X de todas as zeólitas A nos diferentes tempos de síntese, utilizados neste trabalho, não demonstraram variações sensíveis na intensidade dos picos. O que indicaria maior ou menor grau de ordem estrutural exercido pelo

processo de síntese. Apenas se observou que quanto maior o tempo há a formação de outra fase zeolítica denominada hidroxisodalita.

A formação da zeólita sodalita é favorecida não só pelo tempo de síntese, mas também pela concentração de sódio utilizada na síntese, ou seja, quanto maior a quantidade de NaOH, maior será a formação de sodalita

O processo de troca iônica foi considerado satisfatório para a metodologia utilizada. A difração de raios-x da zeólita 5A não apresentou grandes mudanças em relação ao da zeólita 4A. As similaridades nos difratogramas estão relacionadas com a estrutura, que no caso das zeólitas estudadas é a mesma, apenas mudanças no posicionamento do cátion de compensação é que são observáveis.

A cinética de formação da zeólita 5A não apresentou diferenças significativas, as intensidades dos picos são praticamente iguais, o que determina que para a metodologia utilizada, seja viável utilizar o menor tempo por uma questão econômica.

## REFERÊNCIAS

- BRECK, D. B.; **Zeolitic Molecular Sieves: structure, chemistry, and use.** A Wiley – Intersciencepublication, 1973.
- BRECK, D. W..**Zeolitic Molecular Sieves: structure, chemistry and use.** Wiley, N. York, (ed.),1974 .
- CARVALHO, E.A. e ALMEIDA, S.L.M. (1997). **Caulim e carbonato de cálcio: competição na indústria de papel. Série Estudos e Documentos.** CETEM. N. 41 (Centro de Tecnologia Mineral). **Zeólitas Naturais**, capítulo 33, 2005.
- FARIAS, B. M.; RODRIGUES, E. C.; ROCHA JUNIOR, C. A. F.; PINHEIRO, A. P.; MACÊDO, E. N.; SOUZA, J. A. S. **Produção de matrizes adsorventes a partir de zeólita A e sodalita.** Brazilian Journal of Development. v.6, p.73464 - 73478, 2020.
- FERNANDES, A, **A Síntese de Zeólitas e Wolastonita a partir de Cinza do Arroz.** 2006. Tese (Doutorado),Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2006.
- GIRÃO, J. H. S.; MAIA, L. G. C., SILVA, L. R. D. **Avaliação da capacidade dessecante de duas zeolitas obtidas da modificação hidrotérmica de um caulim vermelho do Ceará, Brasil.** Cerâmica. v. 48 (308), p. 231233, 2002
- INTERNATIONAL ZEOLITE ASSOCIATION (IZA). **Banco de Dados de Estruturas das Zeólitas.** Disponível em: < <http://www.iza-online.org/>> Acesso em: 20 de março de 2013.
- LUZ, A. B. Zeólitas: Propriedades e Usos Industriais. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 36 p. 1995.
- LUZ, A. B., LIMA, R. M. F. **Caracterização tecnológica de caulim para a indústria de papel.** Rio de Janeiro: CETEM/CNPq,1991. n. 48. (Série Tecnologia Mineral).
- MAIA, A. A. B. **Desenvolvimento Do Processo De Síntese Da Zeólita A e Da Sodalita A Partir De Rejeitos De Caulim Da Amazônia Com Aplicações Em Adsorção.** 2011. Tese (Doutorado em Ciência Geoquímica e Petrologia) Universidade Federal do Pará. Belém, 2011.
- MAIA, A. A. B. SALDANHA, E; ANGÉLICA, R. S.; SOUZA, C. A.; NEVES, R. F. **Utilização de rejeito de caulim da Amazônia na síntese da zeólita A.** Cerâmica, v. 53, p. 319-324, 2007.
- MAIA, A. A. B. **Síntese da zeólita A utilizando como precursor um rejeito de beneficiamento de caulim da Amazônia: aplicação com adsorvente.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal do Pará. Belém, 2007.

MELO, C. R. **Síntese de zeólita 5A a partir de caulim para adsorção de metais pesados de soluções aquosas.** Dissertação de Mestrado, DEQ, UFSC – Santa Catarina, 2009.

MENEZES R. A. 2011. **Cinética de obtenção da zeólita 5A a partir da zeólita NaA derivada de um caulim amazônico.** Trabalho de conclusão de curso, Instituto Tecnológico, Universidade Federal do Pará, 2011.

MONTE M. B. M., CARVALHO E. A., FERREIRA O., CABO, S. S. CADAM. IN: J. A. SAMPAIO, A. B. LUZ, F. F. LINS (eds.). **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil.** 2001. CETEM (Centro de Tecnologia Mineral), Rio de Janeiro, p.:16-23.

RIGO, R. T. & PERGHER, S. B. C. 2009. **Um novo procedimento de síntese de zeólita A empregando argilas naturais.** Química Nova, 32:21.

ROCHA JUNIOR, C. A. F. 2011. **Caracterização Física, Química e Mineralógica de Cinza Leve de Caldeira e sua Utilização na Síntese de Zeólitas e Aplicação do Material Zeolítico na Adsorção de Cu+2 e Cd+2.** Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, 2011.

RODRIGUES E. C. 2010. **Reciclagem de resíduo da indústria de beneficiamento de caulim para a produção de zeólitas utilizadas como peneiras moleculares.** Trabalho de conclusão de curso, Instituto Tecnológico, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará, 2010.

RODRIGUES, S. **Estudo da síntese da zeólita modernita, em escala de laboratório a partir de matérias-primas nacionais, visando ao seu emprego na concentração de oxigênio do ar atmosférico.** 1984. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SANTOS S. C. A. 2011. **Síntese da zeólita A e 5A a partir de caulim: uma comparação dos métodos estático e dinâmico.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2011.

SANTOS, P. S.; **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1989, v.1