Gestão:

Reunião de Acompanhamento e Avaliação - RAA 2026

Desenvolvimento de materiais nanoporosos a partir do aproveitamento de resíduos (agro)industriais contendo sílica

prh anp 50/UFRGS

Charqueiro, D. S.[1]; Schwanke, A. J.[2];

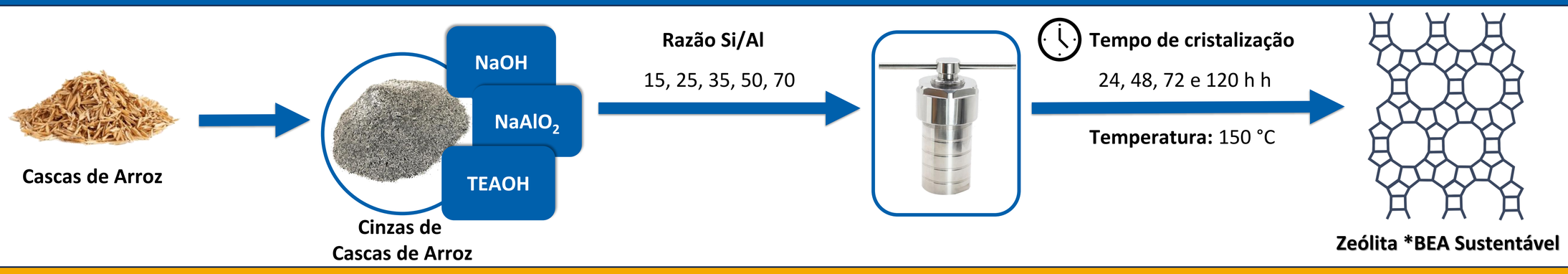
[1]Bolsista do PRH 50/UFRGS, curso de mestrado, Porto Alegre – RS. E-mail: douglas.charqueiro@ufrgs.br

[2]Docente do curso de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. E-mail: anderson.schwanke@ufrgs.br

Introdução

Zeólitas são catalisadores ácidos heterogêneos amplamente empregados no craqueamento catalítico fluidizado (FCC) e também apresentam potencial na pirólise catalítica de resíduos plásticos, especialmente poliolefinas. Nesse contexto, a conversão catalítica desses resíduos está relacionada ao conceito de *upcycling*, que busca transformá-los em produtos de maior valor agregado. Nas últimas décadas, a síntese sustentável de zeólitas tem ganhado destaque pelo uso de fontes alternativas de sílica, como resíduos agroindustriais, reduzindo custos e favorecendo a economia circular. Entre essas fontes, destacam-se as cascas de arroz (*Oryza sativa*) e, principalmente, suas cinzas, que podem conter cerca de 90% em massa de sílica. No Brasil, essa alternativa apresenta grande relevância: na safra 2024/2025, foram produzidas aproximadamente 12,76 milhões de toneladas de arroz, sendo 8,76 milhões no Rio Grande do Sul. Considerando que as cascas correspondem a cerca de 20% da massa do grão, estima-se a geração de aproximadamente 1,75 milhão de toneladas desse resíduo no estado. Atualmente, grande parte dessas cascas são utilizadas como combustíveis em usinas termelétricas, gerando cinzas com elevado potencial para a síntese de zeólitas. Entre as estruturas de maior interesse comercial destaca-se a *BEA (beta), uma zeólita de poros grandes, constituídos por anéis de 12 membros, que apresenta ampla faixa de razões Si/Al. Essa característica permite ajustar suas propriedades ácidas e ampliar seu potencial de aplicação catalítica. Portanto, no contexto da economia circular, o presente trabalho propõe a integração da síntese sustentável de zeólitas beta obtidas a partir de cinzas de casca de arroz com sua aplicação na pirólise catalítica do polietileno de alta densidade (PEAD). Neste contexto, foi investigada a influência de diferentes tempos de cristalização (24, 48, 72 e 120 h) na síntese de zeólitas beta variando as razões Si/Al de 15, 25, 35, 50 e 70. Os materiais obtidos foram posteriormente avaliados como catalisadores na pirólise rápida do PEAD.

Experimental



Resultados e Discussões

Tabela 1. Fases obtidas em diferentes tempos de cristalização.

Razão Si/Al	Intervalo de Cristalização			
	24h	48h	72h	120h
15	*BEA	*BEA	*BEA	*BEA
25	Amorfo	*BEA	*BEA	*BEA + MTW
35	Amorfo	Amorfo	*BEA	*BEA + MTW
50	Amorfo	Amorfo	*BEA + MTW	*BEA + MTW
70	Amorfo	Amorfo	*BEA + MTW	*BEA + MTW

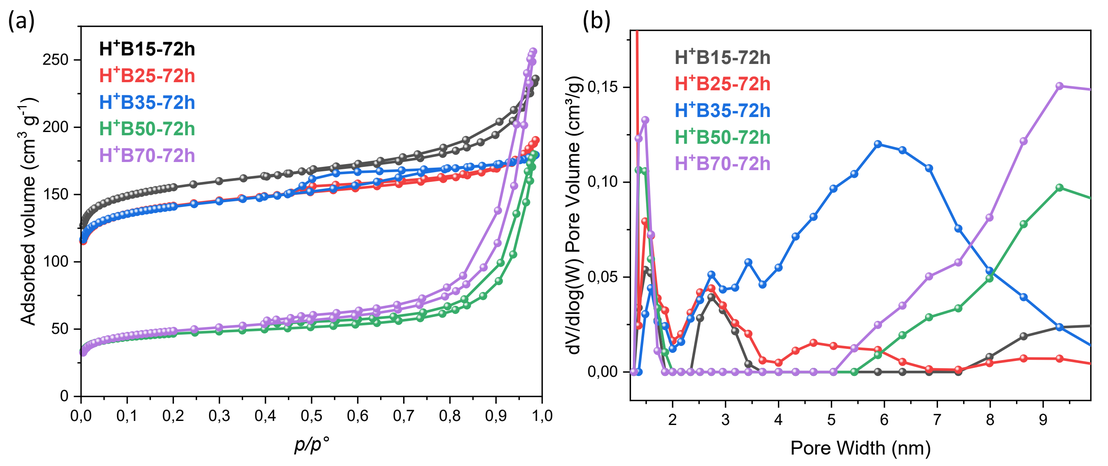


Figura 1. (a) Isotermas de adsorção e dessorção de N_2 das zeólitas *BEA sustentáveis e (b) distribuição de tamanhos de poros determinada por DFT.

Tabela 2. Propriedades texturais, ambiente químico do Al e X_c das zeólitas beta sustentáveis.

Amostras	S_{BET} (m^2g^{-1})	S_{ext} (m^2g^{-1})	V_{micro} (cm^3g^{-1})	V_{meso} (cm^3g^{-1})	V_{total} (cm^3g^{-1})	Al_{tet}[1]	Al_{oct}[1]	X_c
H+B15-72h	600	143	0,178	0,182	0,360	74	26	77%
H+B25-72h	548	132	0.161	0,129	0,290	74	26	52%
H+B35-72h	547	121	0.165	0,112	0.277	82	18	70%
H+B50-72h	176	60	0,046	0,218	0,264	82	18	33%
H+B70-72h	179	82	0,039	0,345	0,384	32	68*	15%

[1] = obtido a partir da intensidade relativa dos sinais; * corresponde a Al_{pent}.

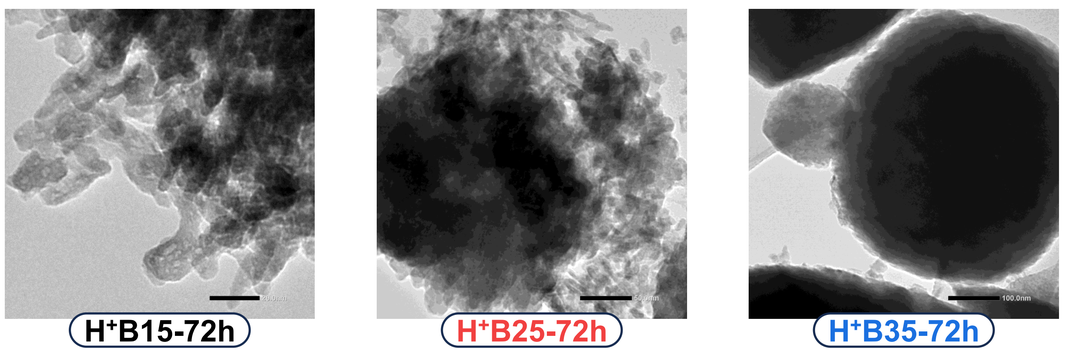


Figura 2. Microscopias eletrônicas de transmissão das zeólitas *BEA sustentáveis.

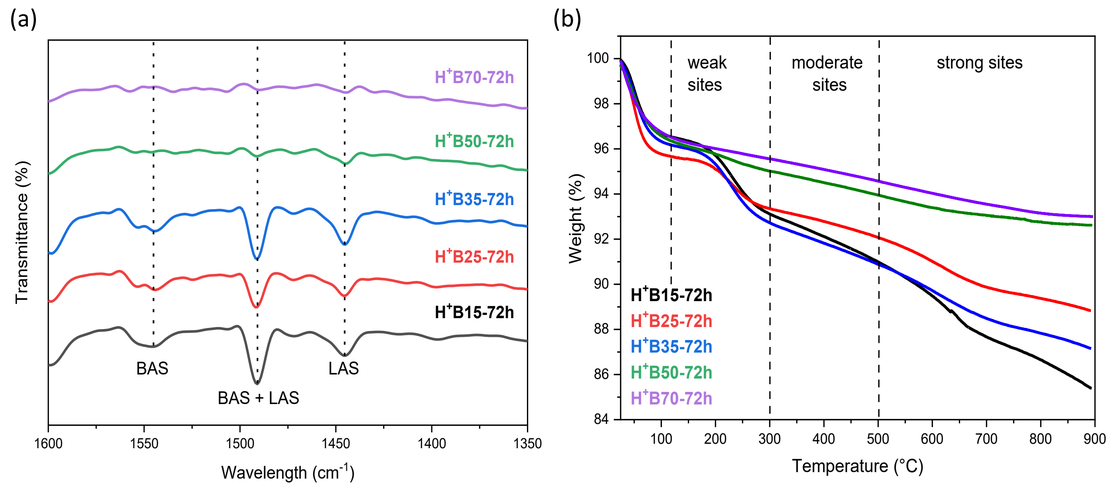


Figura 3. (a) espectros de Py-FTIR (b) ATG das zeólitas *BEA sustentáveis com diferentes razões Si/Al.

Tabela 3. Força e distribuição dos sítios ácidos obtidas a partir das curvas de TGA utilizando Py como molécula sonda, e as quantidades de sítios ácidos de Brönsted (BAS) e de Lewis (LAS).

Amostras	Sítios Fracos		Sítios Moderados		Sítios Fortes		Total ($\mu mol\ g^{-1}$)	A_B/A_L	BAS	LAS
	Quantidade ($\mu mol\ g^{-1}$)	T_{max} (°C)	Quantidade ($\mu mol\ g^{-1}$)	T_{max} (°C)	Quantidade ($\mu mol\ g^{-1}$)	T_{max} (°C)			($\mu mol\ g^{-1}$)	
H+B15-72h	508,8	306	293,0	514	423,1	684	1224,9	1,106	643,3	581,6
H+B25-72h	308,6	294	165,0	496	351,6	742	825,2	1,006	413,8	411,4
H+B35-72h	476,8	289	-	-	280,8	730	757,6	0,658	300,7	456,9
H+B50-72h	165,2	311	-	-	91,4	640	256,6	0,095	22,3	234,3
H+B70-72h	-	-	-	-	-	-	-		-	-

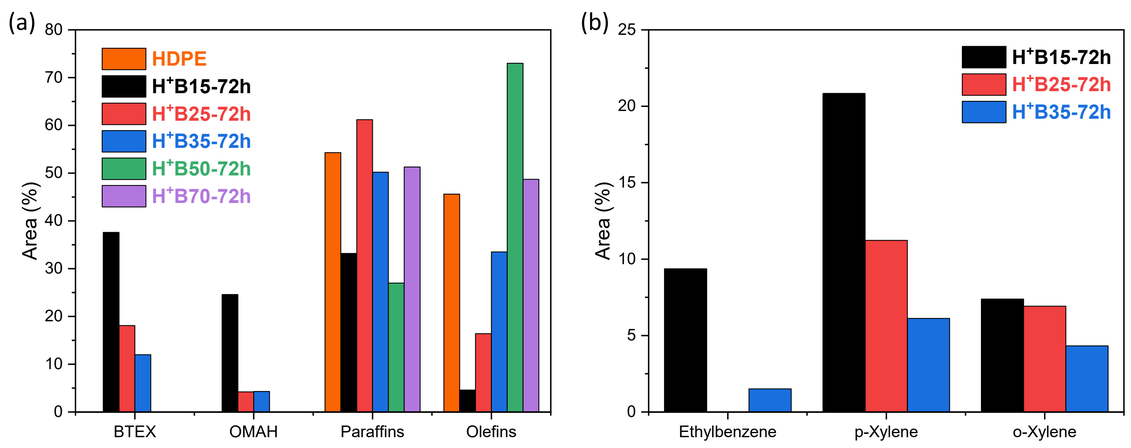


Figura 4. (a) Distribuição dos produtos da **Pirólise** e da Pirólise Catalítica (b) distribuição de etilbenzeno e xilenos obtida na pirólise rápida de PEAD.

Conclusões

As cinzas de casca de arroz mostraram-se uma fonte promissora de sílica para a síntese sustentável de zeólitas *BEA. Maiores tempos de cristalização, associados a maiores razões Si/Al, favoreceram a formação da fase concorrente MTW. Na pirólise do PEAD, as zeólitas com menores razões Si/Al apresentaram maior formação de etilbenzeno e xilenos, evidenciando o potencial da síntese sustentável de zeólitas para a valorização de resíduos agroindustriais e plásticos.