

Estudo Prospectivo Sobre o Uso da Cinza de Casca de Arroz em Catalisadores Heterogêneos

Prospective Study on the Use of Rice Husk Ash in Heterogeneous Catalysts

Mariana Andrade Rodrigues de Oliveira¹

Patricia Regina Sobral Braga¹

¹Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

Resumo

A cinza de casca de arroz (CCA) é um resíduo proveniente da agricultura e tem se mostrado como potencial poluidor. Esse artigo teve por objetivo realizar um estudo sobre a aplicação da CCA na síntese de catalisadores ou como suporte catalítico. Para tal, foi utilizada uma metodologia de prospecção realizada na perspectiva tecnológica, com busca no sítio do INPI e no sistema *Orbit® Intelligence*. O estudo tecnológico revelou que no sítio do INPI nenhuma patente estava relacionada ao uso de CCA como catalisador. Em relação a base de dados *Orbit® Intelligence*, a China se destacou como país com mais depósitos de patentes. Foram recuperadas 26 famílias de patentes, na qual se observou que o código C01B-039/02 é o principal representante. O mapeamento realizado mostrou que os estudos sobre CCA em síntese de catalisadores e/ou como suporte catalítico têm crescido com o passar dos anos.

Palavras-chave: Cinza de Casca de Arroz. Catalisadores Heterogêneos. Prospecção Tecnológica.

Abstract

Rice husk ash (CCA) is a residue from agriculture and has been shown as a potential polluter. This article aimed to conduct a study on the application of CCA in the synthesis of catalysts or as catalytic support. For this purpose, the methodology for prospecting carried out in technological perspective, with the search on the site of the INPI and the *Orbit® Intelligence* System. The technological study revealed that in the place of the INPI no patent was related to the use of CCA as a catalyst. About *Orbit® Intelligence* database, China stood out as a country with more patent deposits. Were recovered 26 patent families, which noted that the code C01B-039/02 is the main representative. The mapping performed showed that the studies on CCA in synthesis of catalysts and/or catalytic support have grown over the years.

Keywords: Rice Husk Ash. Heterogeneous Catalysts. Technology Assessment.

Área Tecnológica: Química. Engenharia. Catálise. Prospecção Tecnológica.



1 Introdução

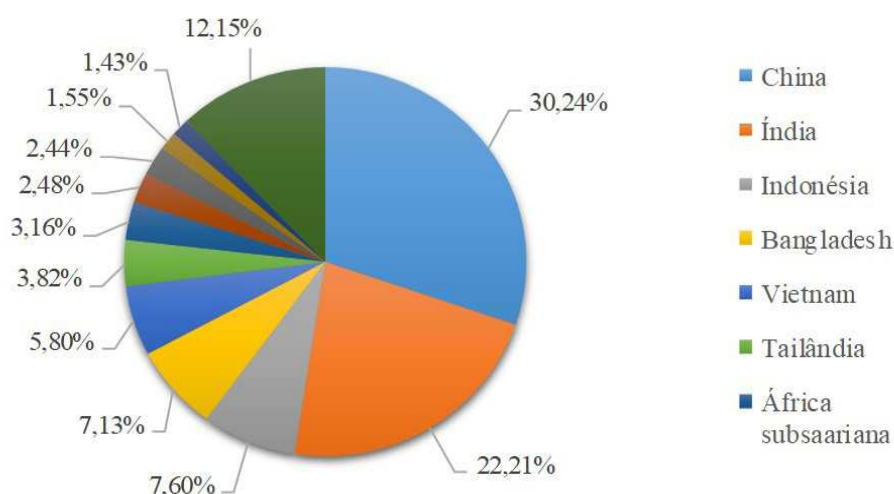
Nos últimos anos, os movimentos a favor do meio ambiente têm se intensificado e esforços vêm sendo empregados com o intuito de minimizar a degradação ambiental e encontrar alternativas, relacionadas à produção e ao consumo, que causem menos impactos ao meio ambiente. Com isso, a busca por novas tecnologias em prol da saúde ambiental pode ser essencial para um desenvolvimento sustentável.

A indústria da agricultura gera uma grande quantidade de resíduos em suas atividades, que podem estar associados a diversos fatores: (i) como às perdas entre a produção e o consumo; (ii) ao desperdício; e (iii) aos materiais gerados ao longo da cadeia produtiva, que aparentemente não possuem valor agregado (ROSA *et al.*, 2011).

A produção de grãos movimenta, de forma significativa, a economia em todo o mundo, e conseqüentemente nota-se uma elevada geração de resíduos. Segundo dados do *International Grains Council* (IGC) (IGC, 2019), a produção de grãos mundial, estimada em 2018/2019, pode chegar a 2,120 bilhões de toneladas. Já no Brasil, de acordo com dados levantados pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (CONAB, 2019), a produção de grãos estimada para 2018/2019 foi de aproximadamente 240,7 milhões de toneladas. Dentre a variedade de grãos produzidos destacam-se o milho, a soja, o trigo e o arroz.

O arroz é um dos grãos mais produzidos no mundo e está presente na refeição da grande maioria da população mundial. Segundo projeções globais levantadas pelo IGC (IGC, 2019), a produção mundial de arroz estimada para 2018/2019 foi de aproximadamente 494 milhões de toneladas, distribuída em diversos países, como mostrado na Figura 1, onde se destaca a China como a maior produtora de arroz no mundo, seguida pela Índia.

Figura 1 – Produção de arroz no mundo - participação por países



Fonte: IGC (2019)

No Brasil, segundo a Conab, a produção chegou a 10,5 milhões de toneladas para o período de junho de 2019, sendo a região Sul a maior produtora do país, com 82,7% da produção (CONAB, 2019).

Tendo em vista a enorme quantidade desse grão produzida no mundo, é inegável que se tenha, como resultado de seu beneficiamento, uma grande quantidade de resíduos gerados. Visando ao aproveitamento desses dejetos, esforços vêm sendo empregados com o intuito de se evitar uma destinação inadequada dos subprodutos gerados ao longo da cadeia produtiva do arroz (LORENZETT *et al.*, 2012).

Os principais resíduos sólidos gerados no ciclo de produção de arroz incluem palha, casca, farelo, quirera (grãos partidos) e cinza (MORAES *et al.*, 2014). De acordo com Pandey *et al.* (2010), a casca é um subproduto que merece relevância, pois representa cerca de 20% do total em massa de arroz colhido.

A casca pode ser usada para avicultura, compostagem ou queima. No caso da queima, é utilizada como biomassa na alimentação de reatores para gerar energia térmica ou elétrica, geralmente, na própria indústria de beneficiamento do arroz. Este processo gera cinza de casca de arroz (CCA), um resíduo que se mostra com grande potencial para ser usado como precursor em aplicações diversas, devido, principalmente, ao alto teor de sílica (SiO_2) em sua composição (MORAES *et al.*, 2014).

A composição química da CCA pode ser observada na Tabela 1 e possui diferentes composições químicas conforme alguns autores (FERRO *et al.*, 2007; MARTÍNEZ *et al.*, 2009; TASHIMA, 2006; ZHANG *et al.*, 1996; FERREIRA, 2013).

Tabela 1 – Composição química da CCA segundo diferentes autores

AUTORES	COMPOSIÇÃO EM ÓXIDOS (% EM MASSA)										
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CAO	Na_2O	K_2O	MNO	TiO_2	MgO	P_2O_5	PF*
Ferro <i>et al.</i>, 2007	91,90	0,09	0,06	0,52	Nd	1,50	nd	nd	0,33	0,25	4,80
Martínez <i>et al.</i>, 2009	93,58	0,13	0,10	0,34	0,02	2,15	0,14	0,02	0,50	0,62	2,41
Tashima, 2006	83,53	1,42	0,86	1,79	0,96	0,78	nd	nd	0,36	nd	5,28
Zhang <i>et al.</i>, 1996	87,20	0,15	0,16	0,55	1,12	3,68	nd	nd	0,35	0,50	8,55
Ferreira, 2013	89,68	0,23	0,16	0,63	0,11	0,33	0,16	nd	0,38	0,52	7,78

*PF: Perda ao fogo; **nd: não declarado.

Fontes: Ferro *et al.* (2007), Martínez *et al.* (2009), Tashima (2006), Zhang *et al.* (1996) e Ferreira (2013)

As propriedades da cinza variam consideravelmente, dependendo das condições de sua queima, (KHALIL, 2013) e a forma estrutural da sílica pós processo de queima depende tanto do tipo de equipamento quanto do processo de queima aplicado (grelha ou leito fluidizado, por exemplo), bem como do tempo e da temperatura aplicada no processo (FERRO *et al.*, 2007; POUHEY, 2006).

Dentre as principais aplicações encontradas na literatura para a CCA, estão a produção de carbetos de silício (SiC), silicatos ou sílica pura (MORAES *et al.*, 2014); utilização como adsorventes (LARBI *et al.*, 2001; NIYOMWAS, 2009); como agente de reforço para polímeros (RAWTANI *et al.*, 1989; WANG *et al.*, 1998); na agricultura (DEY *et al.*, 2012; ENZWEILER *et al.*, 2013); para a produção de células fotovoltaicas e componentes eletrônicos (LARBI *et al.*, 2001; NIYOMWAS, 2009) e como fonte de silício e na catálise heterogênea (BRAGA *et al.*,

2013; ZANOTELI *et al.*, 2014; JANG *et al.*, 2009; MARGANDAN *et al.*, 2010; PIMPROM *et al.*, 2015; FIGUEIREDO; RIBEIRO, 1989).

A CCA tem sido amplamente utilizada na catálise, a fim de se apresentar como um material que pode ser adquirido com facilidade e baixo custo, podendo então ser utilizado para a diminuição dos gastos relacionados à produção de catalisadores heterogêneos (LARBI *et al.*, 2001; FIGUEIREDO; RIBEIRO, 1989) e também se torna um produto interessante, o qual evita seu descarte de forma inadequada no meio ambiente (TASHIMA *et al.*, 2006).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi a realização de um estudo prospectivo a fim de verificar as patentes que abordaram a CCA em todo o mundo, bem como permitir a identificação da relevância desse assunto em diversas áreas tecnológicas. Além disso, identificar a utilização de CCA em catalisadores heterogêneos durante sua síntese e/ou como suporte para sítios ativos. Assim, esse trabalho servirá para estruturar e orientar pesquisas futuras sobre o tema.

2 Metodologia

Para a realização desse trabalho, foi empregada uma metodologia de prospecção baseada na combinação de métodos de monitoramento bem como abordagens qualitativas e quantitativas, sendo abordada a perspectiva de natureza tecnológica.

O procedimento empregado foi a busca no sítio do Instituto da Propriedade Industrial (INPI) e o uso do sistema de busca e análise de patentes *Orbit® Intelligence*. O período realizado para o mapeamento tecnológico foi de setembro a novembro de 2017 e foi conduzido com a utilização de combinações de palavras-chave nos campos “título” e “resumo”. Com o intuito de restringir a pesquisa e obter melhores resultados durante a busca, foram empregados operadores *booleanos* (Ex.: AND, OR, NOT) e operadores de truncamento (Ex.:*, \$, ?).

Para a busca tecnológica através da base de dados do INPI, os campos “título” e “resumo” foram preenchidos utilizando-se a palavra-chave: cinza* de casca* de arroz e cada patente encontrada foi analisada.

No sistema *Orbit® Intelligence* foi utilizada a seguinte combinação de palavras-chave: *rice hull* ash* OR rice husk* ash* OR ash* from rice hull* OR ash* from rice husk**. O mapeamento tecnológico visou a verificar as patentes que abordaram a CCA em todo o mundo, bem como permitir a identificação da relevância desse assunto em diversas áreas tecnológicas além de constatar os países que mais se destacaram na publicação de patentes sobre o assunto. Também foi realizada a leitura dos títulos e resumos, a fim de identificar quais patentes referiam-se à síntese de catalisadores utilizando CCA. Ainda no sistema *Orbit® Intelligence*, foi empregada também uma busca utilizando-se a palavra-chave: *rice straw* ash**, a fim de verificar se em alguma patente encontrada a palavra *straw* foi usada no sentido de “palha”, a qual tenha sido confundida com as palavras *husk* ou *hull*.

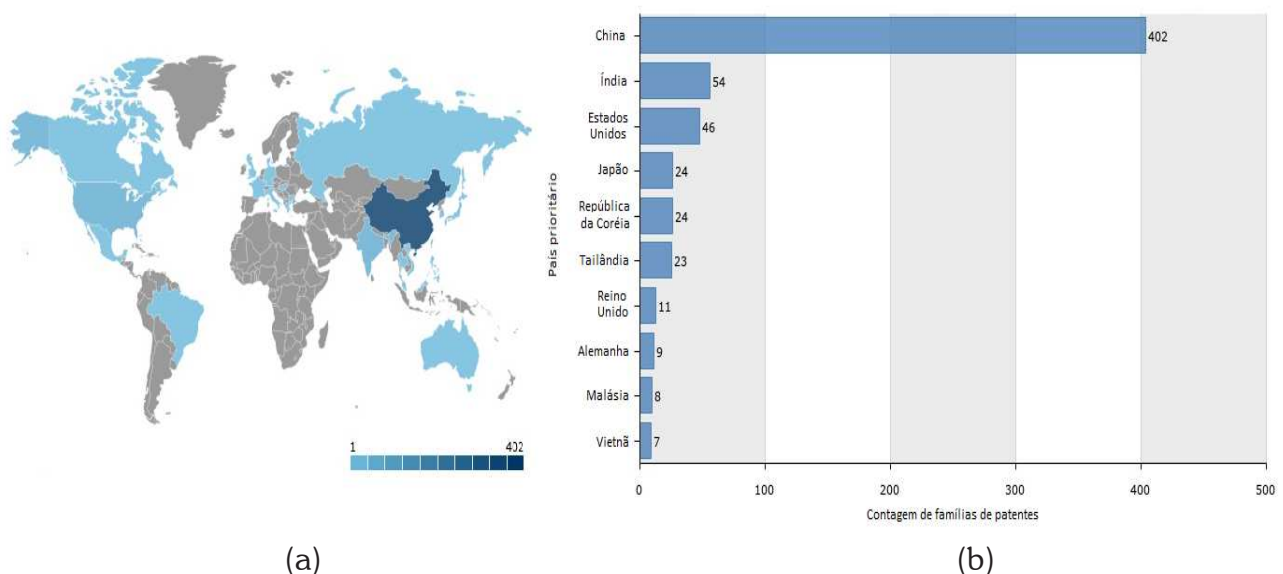
3 Resultados e Discussão

A análise do cenário tecnológico para a busca realizada no sítio do INPI, utilizando-se a palavra-chave “cinza* de casca* de arroz”, mostrou recuperação de 34 patentes, com datas de

depósito entre os anos de 1983 e 2015. Analisando-se as patentes encontradas, verificou-se que 20 delas foram depositadas pelo próprio inventor, 12 foram depositadas por empresas do setor privado e apenas duas foram depositadas por universidades. Contudo, não foram encontradas patentes relacionadas ao uso de CCA em catalisadores, através da metodologia descrita.

De acordo com a metodologia estabelecida para a busca realizada no sistema *Orbit® Intelligence*, utilizando-se a combinação de palavras-chave “*rice hull* ash* OR rice husk* ash* OR ash* from rice hull* OR ash* from rice husk**” foram recuperadas 640 famílias de patentes relacionadas à CCA. Realizando-se uma análise das famílias de patentes encontradas verificou-se que a maioria das patentes relacionadas a esse assunto foi publicada na China e na Índia, como pode ser visto na Figura 2 – (a) Países que possuem patentes relacionadas à CCA no mundo; (b) Dez primeiros países que mais possuem patentes depositadas relacionadas à CCA. Vale a pena ressaltar que o Brasil não é um país que aparece nessa classificação, apesar de existirem esforços a fim de incentivar o depósito de patentes, como a promulgação da Lei de Inovação (10973/2004) (BRASIL, 2004), que mantém e amplia o apoio às parcerias entre empresas e universidades.

Figura 2 – (a) Países que possuem patentes relacionadas à CCA no mundo; (b) Dez primeiros países que mais possuem patentes depositadas relacionadas à CCA.



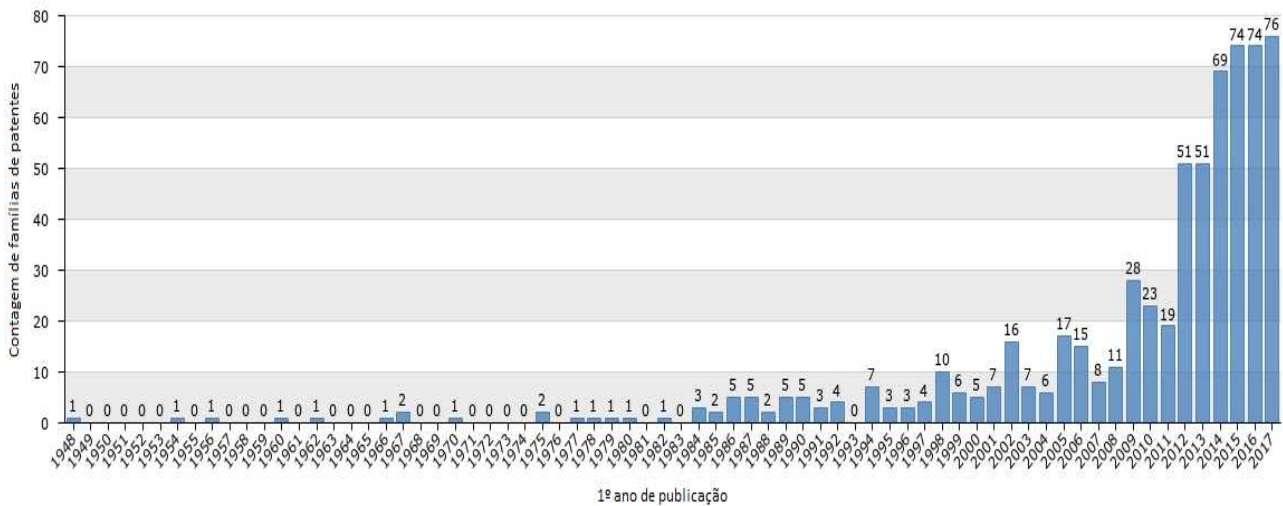
Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

É possível perceber que a maioria dos esforços empregados em tecnologias relacionadas à CCA, em diversas áreas, estão concentrados principalmente nestes países (Figura 2b), o que está diretamente relacionado à dados do IGC, que mostram a China e a Índia como as maiores produtoras de arroz no mundo (Figura 1) (IGC, 2019).

Dos 640 documentos recuperados para essa busca (Figura 3), pode-se verificar que a primeira publicação de patente relacionada à CCA foi em 1948, observando-se que não houve muitas publicações em 40 anos que sucedem essa data. Só a partir dos anos 90 é que se percebe um aumento no número de patentes sendo publicadas, com destaque para o ano de 2017 com

a maior quantidade de patentes depositadas sobre o assunto, até o momento, indicando que a CCA está em constante estudo e que se trata de uma tecnologia emergente, podendo haver um número maior de depósito de patentes nos próximos anos.

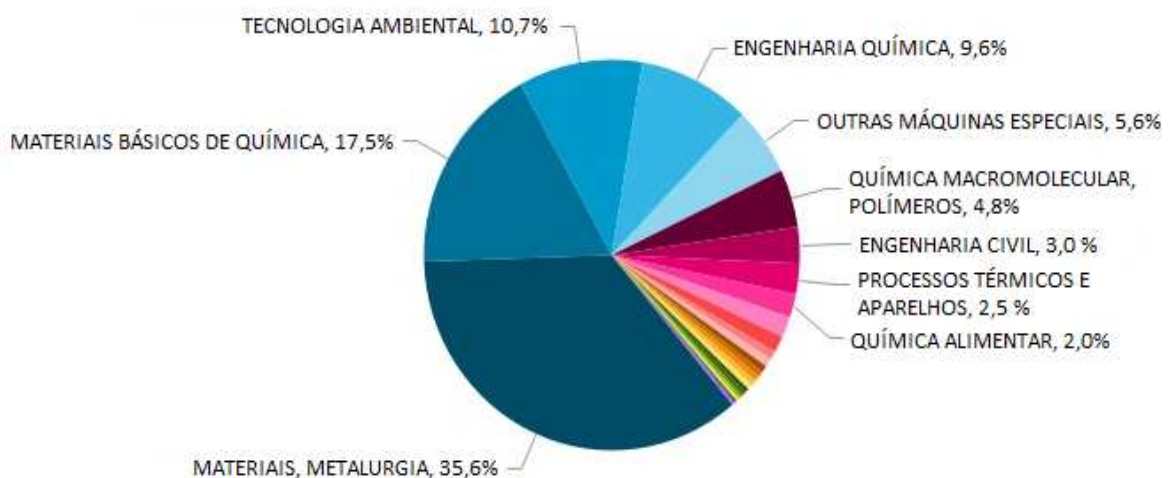
Figura 3 – Famílias de patentes relacionadas à cinza de casca de arroz, depositadas entre os anos de 1948 a 2017



Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

Em relação à *International Patent Classification* (IPC), é possível identificar na Figura 4 em quais principais áreas tecnológicas encontram-se as patentes referentes à CCA. Pode-se observar que a área tecnológica mais expressiva onde se encontram as patentes relacionadas à CCA é a de materiais e metalurgia (35,6%), seguida pela área de materiais básicos de química (17,5%) e tecnologia ambiental (10,7%). Tais informações tecnológicas corroboram com as diferentes áreas científicas, as quais a CCA têm sido estudadas (MORAES *et al.*, 2014; MARGANDAN *et al.*, 2010; LARBI *et al.*, 2001).

Figura 4 – Famílias de patentes relacionadas à CCA, por domínio tecnológico



Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

Após realizar uma análise mais detalhada dos 640 documentos encontrados, com o objetivo de identificar as patentes que tratam sobre catalisadores utilizando a CCA como fonte de silício em sua síntese, encontraram-se 26 famílias de patentes, as quais estão dispostas na Tabela 2 – Patentes relacionadas a catalisadores que utilizam CCA em sua síntese; e a Figura 5 mostra a distribuição das famílias de patentes pelo país de 1º depósito.

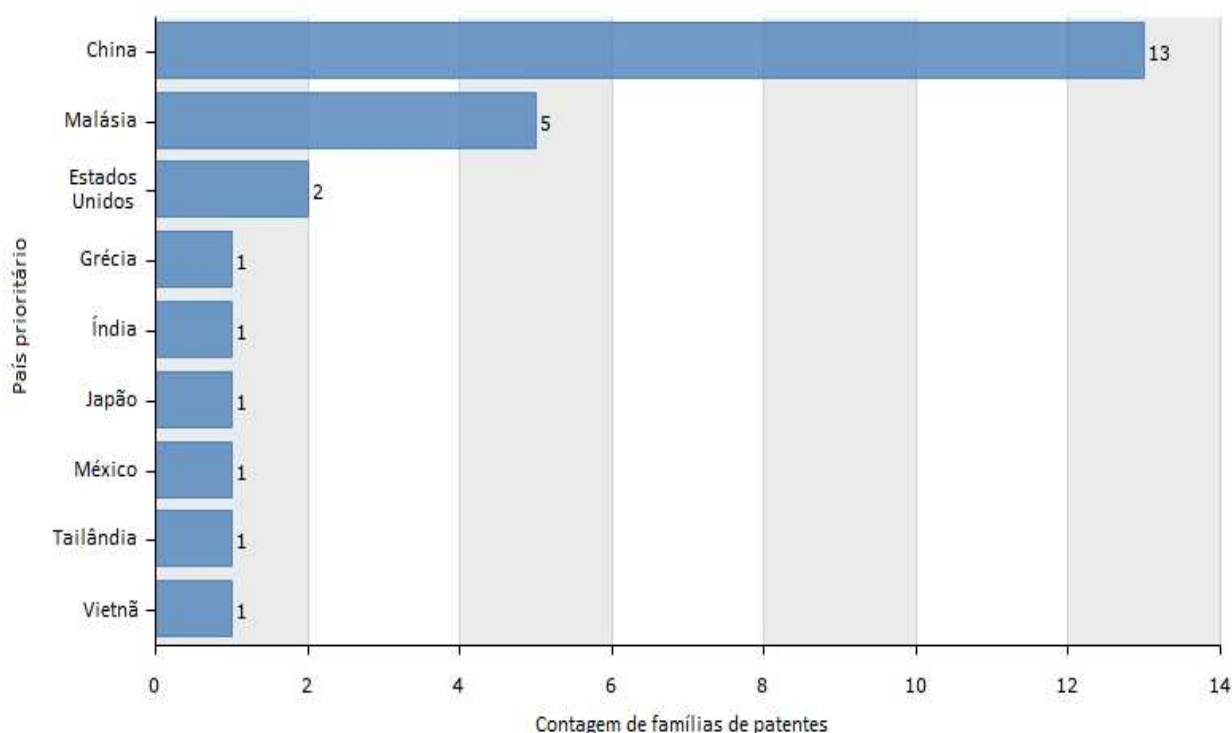
Tabela 2 – Patentes relacionadas a catalisadores que utilizam CCA em sua síntese

Título	Número	Depositante
Method for preparing mesoporous silica material	CN101973554	Kunming University Of Science & Technology
Method for preparing X-type molecular sieve with rice husks serving as silicon source	CN103420394	Shandong University Of Technology
Method for preparing hexagonal phase MCM-41 mesoporous molecular sieve from rice hull as silicon source	CN103848435	Shandong University Of Technology
Method for preparing spherical molecular sieve from rice hulls as silicon sources	CN103864090	Shandong University Of Technology
New process for preparing mordenite molecular sieve by adopting rice husk as silicon source	CN103991881	Shandong University Of Technology
New method for synthesizing multilayer high specific surface area SBA-15 mesoporous molecular sieve	CN104909383	Shandong University Of Technology
Method for preparing mordenite molecular sieve by using rice hull as silicon source	CN103991880	Shandong University Of Technology
New method for preparing ZSM-5 microporous molecular sieve with high calcium ion exchange capacity	CN104909385	Shandong University Of Technology
Preparation method of super-hydrophobic nanoscale white carbon black membrane and super-hydrophobic nanoscale white carbon black powder	CN102583403	Shandong University Of Technology
Rice hull ash based porous material and preparation method thereof	CN103159428	Wuhan University Of Science & Technology
Method for synthesizing P zeolite molecular sieve from rice husk	CN106379913	Cao Rui
Preparation method for preparing biodiesel catalyst	CN104525175	Tianjin University
Preparation method of high-activity and reduction-free iron-based catalyst	CN105688961	Shenyang University Of Chemical Technology
Synthesis of zeolite γ from rice husk ash	MY115131	-
Synthesis Of Zeolite NaA(4a) from Cereal Waste	MY132901	University Malaysia Technology
MCM-41 from rice husk	MY139224	University Malaysia Technology
Zeolite X and zeolite Y from rice husk	MY142264	University Malaysia Technology
Microporous titanosilicate preparation and method thereof	MY152861	University Malaysia Technology
Catalyst for electrochemical dechlorination of hydrocarbons	US9079161	King Fahd University Of Petroleum & Minerals
ZSM-5 made from siliceous ash	US6368571	CHK Group, Inc.
Molecular sieve type zeolite	JP60191018	Kogyo Gijutsuin
A new process for the conversion of waste plastics to petroleum fuels using chemically modified rice husk derived silica catalyst	IN2014CH04257	Thiagarajar College Of Engineering
Process synthesis of mesoporous silica SBA-15 from rice husk ash and products derived from this process	TH74142	-

Título	Número	Depositante
Process for obtaining zeolite ZSM-5 from rice husk.	MX2008003003	Universidad Nacional Autonoma De Mexico
Process of producing zeolites from rice husk ash (RHA)	GR1008134	-
Methodology of the nano-zeolit X - phase materials from tro tank and metakaolin	VN51541	-

Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

Figura 5 – Distribuição das famílias de patentes pelo país de 1º depósito



Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

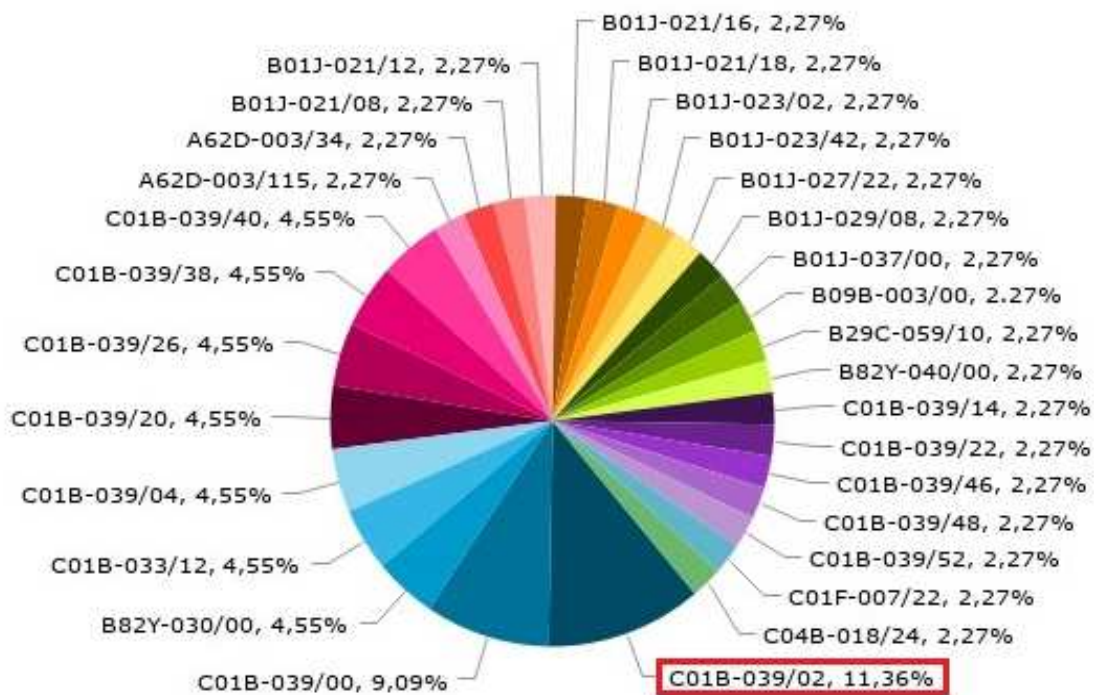
Foi possível verificar que a China continuou como o país com mais depósitos, confirmando mais uma vez sua expressividade nessa área. Os principais depositantes foram principalmente universidades, com destaque para a Universidade de Tecnologia de Shandong, localizada na China, que possui a maioria dos depósitos deste país.

Nota-se também, que a maioria das patentes se refere à zeólitas. Isso confirma a aplicabilidade industrial que esse catalisador possui, principalmente na indústria petroquímica, devido ao fato de possuir uma estrutura que permite a criação de sítios ativos, alta área superficial, tamanho de canais e cavidades compatíveis com a maioria das moléculas das matérias-primas utilizadas na indústria, contribuindo assim, com o maior rendimento e seletividade nas reações

de produção de gasolina, gás liquefeito e demais produtos, obtidos através do craqueamento em leito fluidizado (SILVESTRE *et al.*, 2012; LUNA, 2001).

Outra análise interessante pode ser observada em relação à classificação em que essas patentes estão inseridas de acordo com o IPC. Avaliando a Figura 6, percebe-se que o código mais utilizado para a classificação das famílias de patentes recuperadas para essa busca é o C01B-039/02 (11,36%), o qual agrupa as patentes relacionadas à “zeólitos de aluminosilicato cristalino; compostos isomorfos dos mesmos; preparação direta dos mesmos; preparação dos mesmos partindo de uma mistura reacional contendo um zeólito cristalino de outro tipo ou de reagentes pré-formados: pós-tratamento dos mesmos” (IPC, 2017).

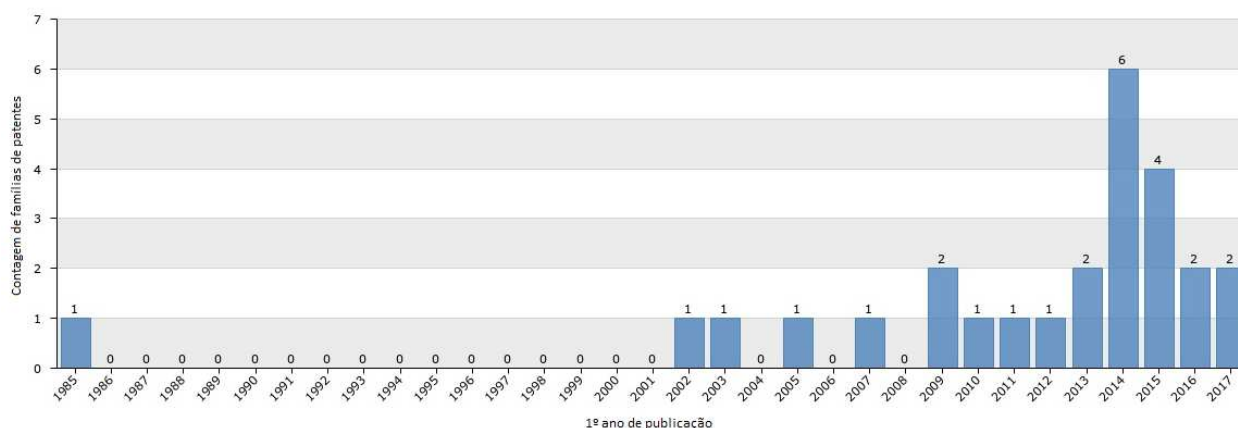
Figura 6 – Famílias de patentes por códigos IPC



Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

Na Figura 7 pode-se observar que a maioria das patentes nessa área foi publicada a partir do ano de 2002, com destaque para os anos de 2014 (6 patentes) e 2015 (4 patentes), com o maior número de publicações até o momento, indicando que a produção, voltada para o setor industrial, de catalisadores heterogêneos utilizando a CCA como fonte de silício pode ser considerada recente.

Figura 7 – Famílias de patentes relacionadas à utilização de CCA em catalisadores heterogêneos, depositadas entre 1985 e 2017



Fonte: Adaptada de Orbit® Intelligence (2017)

Por fim, utilizando-se a palavra-chave “*rice straw* ash**”, no sistema *Orbit® Intelligence*, com o intuito de verificar se a expressão foi utilizada erroneamente pelo autor ou tradutor, foram encontradas 78 famílias de patentes. Alguns desses documentos recuperados indicaram que a expressão foi utilizada no sentido de “*rice husk* ash**” ou “*rice hull* ash**”, porém a quantidade desses casos não foi expressiva. Contudo, a partir dessa metodologia de busca, não foram encontradas patentes que relataram a síntese de catalisadores com uso de CCA.

4 Considerações Finais

As informações levantadas permitiram verificar a relevância da aplicação da cinza de casca de arroz em diversas áreas tecnológicas, principalmente como fonte de silício para a síntese de catalisadores heterogêneos ou para uso como suporte catalítico, além de identificar as tendências tecnológicas sobre o assunto.

Durante o mapeamento tecnológico buscou-se analisar a relevância da CCA em diversas áreas tecnológicas e, principalmente, em aplicações envolvendo a síntese de catalisadores. De acordo com a metodologia estabelecida para a busca no sítio do INPI foram recuperadas 34 patentes que abordavam a utilização da CCA em diversas aplicações. Dentre essas não foi encontrada nenhuma relacionada ao uso de CCA em catalisadores.

Utilizando-se o sistema *Orbit® Intelligence* foram recuperadas 640 famílias de patentes relacionadas à CCA e verificou-se que a China e a Índia possuem o maior número de patentes depositadas sobre o assunto, com 402 e 54 famílias de patentes cada uma, respectivamente. A grande diferença na quantidade de proteções entre a China e o restante dos países pode ser explicada pelo destaque deste país como o maior produtor de arroz no mundo. Outra explicação para o fato de a China possuir mais depósitos de patentes nesse setor está relacionada aos requisitos de patenteabilidade adotados por esse país, que permitem uma maior amplitude de proteção, em relação a outros países.

Em uma análise mais detalhada das 640 famílias de patentes encontradas verificou-se que 26 destas tratavam sobre a utilização de CCA em catalisadores. Novamente, a China se destacou com o maior número de patentes depositadas (13 famílias de patentes), confirmando sua expressividade nessa área. Notou-se também, que a maioria dos depositantes dessas patentes foram universidades e que a maioria das patentes depositadas se referiu a zeólitas (C01B-039/02), confirmando a aplicabilidade industrial que este catalisador possui.

Neste artigo, demonstrou-se que os estudos sobre CCA em síntese de catalisadores e/ou como suporte catalítico têm crescido com o passar dos anos. Para tanto, tem-se a oportunidade de utilizar esse rejeito evitando-se seu descarte de forma inadequada no meio ambiente. Deste modo, o estudo prospectivo permitiu avaliar e observar o crescimento do uso desse material em diversas áreas do conhecimento.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Faculdade UnB/Gama, ao IQ/UnB e à FAPDF pelo apoio financeiro.

Referências

BRAGA, R. M.; TEODORO, N. M.; AQUINO, F. M.; BARROS, J. M. F.; MELO, D. M. A.; FREITAS, J. C. O. Síntese da peneira molecular MCM-41 derivada da cinza da casca do arroz. **HOLOS**, 29, v. 5, 2013.

BRASIL. Lei nº 10973 de 02 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 2 dez. 2004.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 6, Safra 2018/19 - Décimo levantamento, p. 1-50, ISSN 2318-6852. Brasília, jul. 2019.

DEY, K. P.; GHOSH, S.; NASKAR, M. K. A facile synthesis of ZSM-11 zeolite particles using rice husk ash as silica source. **Materials Letters**, v. 87, p. 87–89, 2012.

ENZWEILER, H. COUTINHO, E. B. SCHWAAB, M. Cinzas de casca de arroz como fonte alternativa de silício para a síntese de zeólita beta. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 17 n. 17, p. 3.284-3.292. 2013.

FERREIRA, M. J. **Obtenção de silicato de sódio por lixívia alcalina a partir da cinza da casca de arroz para uso como defloculante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

FERRO, W. P.; SILVA, L. G. A.; WIEBECK, H. Uso da cinza da casca de arroz como carga em matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, p. 240–243, 2007.

FIGUEIREDO, J. L.; RIBEIRO, F. R. **Catálise heterogênea**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989. 250p.

IGC – International Grains Council. **Five-year global supply and demand projections**. Canada Square, Canary Wharf, London E14 5AE, England. Mar, 2019.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INTELECTUAL. **Busca por Patentes**. Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/informacao/busca-de-patentes>. Acesso em: 8 abr. 2017.

IPC – INTERNATIONAL PATENT CLASSIFICATION. **Classificação internacional de patentes**. Disponível em: <http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub/?notion=scheme&version=20170101&symbol=none&menulang=pt&lang=pt&viewmode=f&fipcpc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=o2n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>. Acesso em: 07 out. 2017.

JANG, H. T.; PARK, Y.; KO, Y. S.; LEE, J. Y.; MARGANDAN, B. Highly siliceous MCM-48 from rice husk ash for CO₂ adsorption. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 3, p. 545–549, 2009.

KHALIL, R. **Impact of the surface chemistry of rice hull ash on the properties of its composites with polypropylene**. PhD em Engenharia Química, RMIT University, Melbourne, Australia, 2008.

LARBI, K. K.; BARATI, M.; MCLEAN, A. Reduction behaviour of rice husk ash for preparation of high purity silicon. **Canadian Metallurgical Quarterly**, v. 50, p. 341–349, 2001.

LORENZETT, DANIEL B.; NEUHAUS, MAURICIO; SCHWAB, NATALIA T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 1, p. 219-232. Paraná, 2012. ISSN 1808-0448.

LUNA, FERNANDO. Modificação de zeólita para uso em catálise. **Quim. Nova**, v. 24, n. 6, p. 885-892, dez. 2001.

MARGANDAN, B.; LEE J. Y.; RAMANI, A.; HYUN, T. J. Synthesis of chloropropylamine grafted mesoporous MCM-41, MCM-48 and SBA-15 from rice husk ash: their application to CO₂ chemisorption. **J. Porous Mater**, n. 17, p. 475-484, 2010.

MARTÍNEZ, J. D.; VÁSQUEZ, T. G.; JUNKES, J. A.; HOTZA, D. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Quim. Nova**, v. 32, n. 5, p. 1.110-1.114, 2009.

MORAES, C. A. M.; FERNANDES, I. J.; CALHEIRO, D.; KIELING, A. G.; BREHM, F. A.; RIGON, M. R.; BERWANGER, J. A.; SCHNEIDER, I. A. H.; OSORIO, E. Review of the rice production cycle: By-products and the main applications focusing on rice husk combustion and ash recycling. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 11, p. 1.034–1.048, 2014.

NIYOMWAS, S. Synthesis and characterization of silicon-silicon carbide composites from rice husk ash via self-propagating high temperature synthesis. **Journal of Metals Materials and Mineral**, v. 19, p. 21–25, 2009.

PANDEY, S.; BYERLEE, D.; DAWE, D.; *et al.* **Rice in the global economy: strategic research and policy issues for food security**. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute – IRRI, 2010.

PIMPROM, S.; SRIBOONKHAM, K.; DITTANET, P.; FOTTINGER, K.; RUPPRECHTER, G.; KONGKACHUICHAY, P. Synthesis of copper–nickel/SBA-15 from rice husk ash catalyst for dimethyl carbonate production from methanol and carbon dioxide. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 31, p. 156–166, 2015.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

QUESTEL. Orbit Intelligence. Disponível em: <https://www.questel.com/software/ipbi/orbit-intelligence/>. Acesso em: 16 set. 2017.

RAWTANI, A. V.; RAO, M. S.; GOKHALE, K. V. G. K. Synthesis of ZSM-5 Zeolite Using Silica from Rice Husk Ash. **Ind. Eng. Chem. Res.**, v. 28, n. 9, 1989.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S.T., LEITÃO, R.C. Valorização de Resíduos da Agroindústria. **Anais [...] II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA**. Foz do Iguaçu: Volume I – Palestras, 2011, p. 98-105.

SILVESTRE, ÁLVARO 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.

SOARES, A. B. **Síntese, caracterização e avaliação na obtenção de biodiesel de catalisadores de CaO e SnO₂ suportados em cinzas de casca de arroz**. 143 p. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2009.

TASHIMA, M. M. **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UNESP. Ilha Solteira, SP, 2006.

WANG H. P.; LIN K. S.; HUANG, Y.J.; LI, M.C.; TSAUR, L.K. Synthesis of zeolite ZSM-48 from rice husk ash. **Journal of Hazardous Materials**, v. 58, p. 147–152, 1998.

ZANOTELI, K.; FREITAS, J. C. C.; NAGIPE P. R. Estudo de catalisadores de níquel suportados em cinza de casca de arroz na reforma de metano com dióxido de carbono visando a produção de hidrogênio e gás de síntese. **Quim. Nova**, v. 37, n. 10, p. 1.657-1.662, 2014.

ZHANG, M. H.; LASTRA, R.; MALHOTRA, V. M. Rice-husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste. **Cement and Concrete Research**, v. 26, p. 963–977, 1996.

Sobre os Autores

Mariana Andrade Rodrigues de Oliveira

E-mail: marianaandrade.r.o@gmail.com

Bacharel em Engenharia de Energia pela Universidade de Brasília (UnB).

Endereço profissional: Universidade de Brasília, Faculdade, Gama – Engenharia de Energia, Brasília, DF. CEP: 72405-610.

Patricia Regina Sobral Braga

E-mail: patriciabraga@unb.br

Doutora e Mestre em Química, subárea Inorgânica, pela Universidade de Brasília (UnB), bacharel e licenciada em Química pela Universidade de Brasília (UnB).

Endereço profissional: Universidade de Brasília, Faculdade, Gama – Engenharia de Energia, Brasília, DF. CEP: 72405-610.