



CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS VISANDO SUA UTILIZAÇÃO COMO MATÉRIA-PRIMA NA PRODUÇÃO DE NOVOS MATERIAIS

Doris Sippel Dörr – doris.sdorr@gmail.com

Universidade de Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Avenida Independência, 2293, Santa Cruz do Sul – RS, Brasil, 96815-900

Jorge André Ribas Moraes – jorge@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul, Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias e Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Avenida Independência, 2293, Santa Cruz do Sul – RS, Brasil, 96815-900

Adriane de Assis Lawisch Rodriguez – adriane@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul, Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias e Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Avenida Independência, 2293, Santa Cruz do Sul – RS, Brasil, 96815-900

Vilson Vinícius Leonardi – vilson@unisc.br

Universidade de Santa Cruz do Sul, Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, Avenida Independência, 2293, Santa Cruz do Sul – RS, Brasil, 96815-900

Resumo: O descarte inadequado de resíduos industriais e de consumo no meio ambiente é uma prática incorreta e muito realizada nos dias atuais. A necessidade de encontrar outros fins para estes resíduos é de suma importância. Tendo isto em vista, este trabalho caracteriza dois resíduos (cinza de casca de arroz e alumínio) que são produzidos em larga escala visando a utilização destes na produção de um novo material. A cinza da casca de arroz é um resíduo oriundo do processo de beneficiamento do arroz. As fontes de alumínio analisadas são um resíduo de indústrias metalúrgicas e de latas de bebidas. Através de análises de espectrometria de raio x e óptica e fluorescência de raio x, a relevância destes resíduos em questões de composição química foi observada. A cinza da casca de arroz é um produto com elevada concentração de sílica, apresentando uma pureza elevada. O processo de reciclagem do alumínio, seja ele oriundo de latas de bebidas ou do resíduo das indústrias metalúrgicas, é extremamente importante pois diminui o volume de bauxita que precisaria ser extraída para produzir a mesma quantidade. Portanto, fica claro o potencial da utilização destes dois resíduos como matérias primas para a obtenção de novos produtos.

Palavras-chave: Cinza da casca de arroz, Alumínio, Caracterização.

CHARACTERIZATION OF INDUSTRIAL WASTE FOR THE USE OF RAW MATERIALS IN THE PRODUCTION OF NEW MATERIALS

Abstract: The inappropriate disposal of industrial waste and consumption in the environment is an incorrect practice and very accomplished in the present day. The need to find other purposes for these wastes is of paramount importance. With this in view, this work characterizes two residues (rice husk ash and aluminum) that are produced in large scale aiming the use of these in the production of a new material. Rice husk ash is a residue from the rice processing process. The sources of analyzed



aluminum are a residue of metallurgical industries and beverage cans. Through the analysis of x-ray and optical spectrometry and x-ray fluorescence, the relevance of these residues in questions of chemical composition are observed. Rice husk ash is a high silica product with high purity. The process of recycling aluminum, whether it comes from beverage cans or the residue of the metallurgical industries, is extremely important because it reduces the volume of bauxite that would need to be extracted to produce the same amount. Therefore, it is clear the potential of using these two residues as raw materials to obtain new products.

Keywords: Rice husk ash, Aluminum, Characterization.

1. INTRODUÇÃO

O consumo humano por bens materiais está crescendo cada vez mais, porém cresce também a preocupação da sociedade com a proteção ambiental pois a mesma está vinculada com a segurança da vida na Terra. A legislação brasileira está crescendo conjuntamente com este interesse da população. Em razão disto, as empresas precisam implementar a sustentabilidade, alcançando a geração mínima de resíduos, a poluição zero, a redução do consumo de água, a diminuição de riscos aos trabalhadores e a eficiência máxima dos recursos (MARTINS e DA SILVA, 2015).

A população, juntamente com as indústrias, está produzindo cada vez mais um volume maior de resíduos sólidos, sejam eles resíduos sólidos urbanos ou industriais. Vinculado a isto, a problemática do descarte inadequado destes resíduos está preocupando ainda mais ambientalistas, pois os impactos causados por práticas irregulares de descarte são evidentes. Assim, procuram-se técnicas para aumentar a eficiência da produção e reduzir os impactos associados à fabricação (DOS SANTOS et al., 2014).

Com relação aos novos conceitos introduzidos nas empresas, o pensamento para a reutilização de resíduos produzidos nas indústrias deve ser estudado para evitar a poluição do meio ambiente e a utilização de novos recursos naturais. Desta forma, o estudo da utilização da cinza da casca de arroz, resíduo produzido em grandes quantidades no mundo devido ao elevado consumo de arroz, como fonte de silício para produzir um compósito de alumínio-silício torna-se relevante. Além de utilizar um resíduo que apresenta uma grande problemática de destinação (casca de arroz), este estudo irá investigar a utilização do alumínio reciclado ao invés do alumínio primário, oriundos de duas fontes, latas de alumínio e resíduos de alumínio de uma indústria, visando dar um destino mais nobre aos mesmos ao invés de simplesmente voltarem para a cadeia produtiva que os manufaturaram a primeira vez.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Arroz

O arroz é um dos cereais mais consumidos no mundo. O Brasil destaca-se neste setor de produção, estando entre os 10 maiores produtores do mundo (IBGE, 2015). Segundo Conab (2017), a produção de arroz no Brasil na safra de 2015/2016 foi em torno de 10,6 milhões de toneladas, sendo que 80 % desta produção concentra-se na região Sul do país. O cultivo do arroz está distribuído principalmente entre os estados do Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) e Mato Grosso (MT), em ordem decrescente de volume de produção. O RS é o maior produtor brasileiro, correspondendo a 69 % da produção nacional, possuindo a maior área plantada (1 milhão de hectares), equivalendo à 54 % de toda a área nacional cultivada (MAPA, 2016; CONAB, 2017).

Após a colheita, o arroz precisa ser beneficiado para então estar pronto para o consumo humano. O beneficiamento do arroz é um processo obrigatório independentemente do tipo de arroz requerido. Este procedimento gera resíduos em grandes volumes necessitando uma atenção maior para a sua correta destinação, dentre eles estão a casca de arroz, o farelo e os grãos quebrados (quirera). A casca de arroz é um resíduo que destaca-se devido ao elevado volume produzido e a demora para sua incorporação quando depositada no solo (LORENZETT et al., 2012).



A casca de arroz é um revestimento formado durante o crescimento do grão com elevado volume e baixa densidade. É constituída aproximadamente de 50 % de celulose e hemicelulose, 26 % de lignina, 20 % de componentes inorgânicos e 4 % de componentes orgânicos. Os dois últimos componentes irão depender de diversos fatores da produção, como clima, solo, utilização de fertilizantes e a variedade de planta utilizada. Dos componentes inorgânicos, 94 % corresponde a sílica, sendo que os outros 6 % são óxidos de metais, como K_2O , CaO e MgO (YALÇIN e SEVINÇ, 2001; DE SOUZA et al., 2002; MA et al., 2011).

A casca representa 20 % em peso da semente do arroz, fazendo com o que o volume produzido deste resíduo seja muito elevado. Esta constatação fica melhor evidente quando se avalia a safra de 2015/2016, quando se verificou a produção de aproximadamente 2,1 milhões de toneladas de casca de arroz. Assim, este resíduo é uma problemática para essa cultura (DE SOUZA et al., 2000; MA et al., 2011; PEREIRA et al., 2015; CONAB, 2017). A casca possui baixa densidade e propriedades nutritivas, apresenta uma superfície dura e um alto teor de sílica, sendo dificilmente decomposta por bactérias (LI et al., 2011; FERNANDES et al., 2015; PENHA et al., 2016).

Um aumento da utilização da casca de arroz como fonte de energia vem sendo observado devido ao elevado poder calorífico da casca (aproximadamente 16720 kJ/kg). A energia produzida através da queima da casca é utilizada no processo de secagem e parbolização do arroz. Esta prática está se tornando mais comum devido à adversidade do transporte, pois o elevado volume de cascas aliado a sua baixa densidade de empacotamento torna o carregamento um processo de custo elevado. Com a queima, o volume de resíduo é reduzido, além de ser uma fonte alternativa de energia para as empresas (DELLA et al., 2001; DELLA et al., 2002; LI et al., 2011).

A cinza produzida durante a queima vem sendo utilizada para diversos fins pois apresenta um alto teor de óxido de silício e um elevado valor agregado (DELLA et al., 2001; DELLA et al., 2002; LI et al., 2011). Entretanto, é necessário ter cuidado ao realizar esta prática na indústria, visto que o descarte inadequado das cinzas no meio ambiente pode causar contaminação, causando efeitos drásticos no meio aquático e terrestre e para a saúde humana. Em vista da cinza conter alta concentração de sílica, pode causar a doença silicose nas pessoas em contato com ela (MENEZES et al., 2008; LI et al., 2011; PEREIRA et al., 2015).

Estudos afirmam que a sílica está localizada na epiderme externa e nos espaços entre os tecidos epidérmicos. Contudo, uma pequena quantidade encontra-se na epiderme interna, junto ao grão de arroz (PATEL et al., 1987; DELLA et al., 2006). A sílica no arroz encontra-se na forma amorfa hidratada assim como a sílica gel. Uma parte da sílica está unida com os polissacarídeos formando uma ligação entre o silício e os compostos orgânicos (PATEL et al., 1987).

2.3. Cinzas da casca de arroz

A queima da casca de arroz com ar produz uma cinza que apresenta um elevado teor de óxido de silício (acima de 90 %). Sua composição irá variar de acordo com as condições de plantio do arroz. Os principais elementos encontrados em sua composição são sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco, os quais são considerados como impurezas em diversos processos (DELLA et al., 2002; MENEZES et al., 2008).

Entre as características da cinza, as mais notórias são o alto ponto de fusão, sua elevada porosidade e superfície específica, elevada reatividade durante mudanças na estrutura e reações químicas da sílica e baixa porcentagem de ferro (HAMAD e KHATTAB, 1981). Essas características tornam este produto muito interessante para diversos setores da indústria.

A sílica presente na cinza pode estar na forma amorfa ou cristalina, dependendo da temperatura de queima e do método de obtenção. Em temperaturas baixas ou em curtos tempos de exposição em altas temperaturas, a sílica apresenta-se predominantemente na forma amorfa, a qual é a mais indicada, visto sua maior reatividade (DELLA et al., 2001). Cordeiro et al. (2014) também observaram que com o aumento da temperatura de queima, a quantidade de sílica reativa diminui. Segundo Yalçin e Sevinç (2001), a combustão em temperaturas acima de 700 °C transforma a sílica amorfa em cristalina, ocorrendo também um aumento da densidade.



O alumínio é o metal em maior quantidade na crosta terrestre na forma de óxido de alumínio (Al_2O_3), aproximadamente 8 % em peso, e o terceiro elemento mais abundante, ficando atrás somente do oxigênio e do silício. O ponto de fusão é em torno de 660 °C, o qual é relativamente baixo se comparado ao do aço (1570 °C), podendo ser mais baixo quando na forma de liga. A sua resistência mecânica pode ser aumentada com a adição de elementos de liga (como silício, cobre e manganês) (ATKINS e JONES, 2012; DAVID e KOPAC, 2012).

As características físico-químicas do alumínio o tornam um excelente material para utilização em construções e na indústria aeroespacial. Sendo também muito utilizado em linhas de alta tensão devido à sua leveza e alta condutibilidade (ABAL, 2007; ATKINS e JONES, 2012). Estas propriedades podem ser aperfeiçoadas com a adição de elementos de liga, como cobre, zinco, silício e magnésio, ou através de tratamentos térmicos (JUNIOR e DINIZ, 2014; SANTOS et al., 2016).

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL), a produção de alumínio primário no Brasil em 2016 foi de 792,7 mil toneladas (ABAL, 2017a). Já a produção mundial neste mesmo ano, segundo o *Internacional Aluminium Institute* (IAI), foi de 58,890 milhões toneladas. O maior produtor mundial é a China com produção estimada de 31,641 milhões toneladas (IAI, 2017). Conforme a ABAL, o Brasil é o líder mundial em volume de alumínio reciclado. No ano de 2015, 602 mil toneladas de alumínio foram recicladas. Em torno de 50 % deste alumínio reciclado é oriundo de latas de alumínio para bebidas, correspondendo quase à totalidade de latas consumidas em 2015 no Brasil (ABAL, 2017b).

Segundo Shinzato e Hypolito (2005), a reciclagem é um processo economicamente e ambientalmente correto pois visa o reaproveitamento de resíduos que estariam sendo dispostos em aterros ou em locais impróprios contaminando o meio ambiente. Com a reciclagem, diminui-se o volume destes resíduos, além de diminuir o montante de matéria-prima utilizada em determinados processos.

Ao citar o termo reciclagem, primeiramente lembra-se do alumínio pois é um material que pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder suas características. A cada 1 tonelada de alumínio reciclado, diminui-se a extração de 4 toneladas de bauxita, além de economizar até 95 % de energia (ABAL, 2007).

Alguns dos benefícios da reciclagem do alumínio vão além da redução de energia e matéria prima utilizadas, envolvendo questões humanas, visto que a reciclagem é fonte de renda para muitas famílias, mantendo pessoas não qualificadas dentro do mercado de trabalho. Em função disto, gera recursos para aplicação nas economias locais, desenvolvendo melhor o mercado em âmbito local e nacional. Na questão ambiental, incentiva a reciclagem de outros materiais, criando uma conscientização ambiental na população local e reduzindo o volume de resíduos sólidos destinados aos aterros sanitários (ABAL, 2007).

3. METODOLOGIA

As cascas de arroz foram obtidas de uma empresa do Vale do Rio Pardo. Estas foram lavadas 3 vezes sendo a primeira com água potável e as duas últimas com água deionizada. Após este processo, foram secas em estufa à 100 °C durante 24 horas. Este processo visa a retirada de areia e impurezas que podem prejudicar a qualidade da sílica obtida. Com base em pesquisas bibliográficas (FERNANDES et al., 2014), a temperatura de queima utilizada foi de 700 °C. O ciclo de queima aplicado foi lento, com taxa de aquecimento de 8 °C/min e um patamar de queima de 2 horas após atingida a temperatura estipulada. Realizou-se o resfriamento dentro do próprio forno, caracterizando um resfriamento do tipo lento. O processo de queima foi conduzido em forno do tipo mufla sem controle da atmosfera e em atmosfera inerte. O mesmo procedimento foi realizado em duas amostras, excluindo-se o processo de lavagem.

A composição das cinzas produzidas foi analisada através da técnica de espectrometria de fluorescência de raio X (FRX). A identificação das fases e do grau de cristalinidade das amostras foram feitas pela técnica de difratometria de raios X (DRX). Ambas as análises foram realizadas em laboratórios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).



O resíduo da indústria metalúrgica e as latas de alumínio foram fundidos em forno do tipo industrial da marca Grion utilizando um cadinho de aço. A temperatura de fundição foi em torno de 800 °C. O tempo de fundição foi variado conforme o volume de resíduos e latas utilizadas. Os resíduos industriais e as latas de alumínio foram dispostos primeiramente em forno tipo mufla para a retirada da umidade dos materiais, com a temperatura da mufla variando entre 150 e 200 °C.

A composição dos lingotes produzidos utilizando latas de alumínio e alumínio proveniente da indústria foram caracterizados utilizando o espectrômetro óptico (aparelho Solaris CCD Plus - S5) no laboratório da Engenharia de Produção da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cinza da casca de arroz

A Figura 1 ilustra a casca de arroz pré e pós carbonização. Pode-se observar que a coloração da cinza obtida é predominantemente branca caracterizando uma combustão completa com baixo teor de carbono residual (DELLA et al., 2001; MENEZES et al., 2008). Nesta fase não observou-se nenhuma diferença entre as amostras produzidas. Todas apresentaram a mesma coloração após o processo de queima.

Figura 1 - (a) casca de arroz e (b) cinza da casca de arroz.



(a)

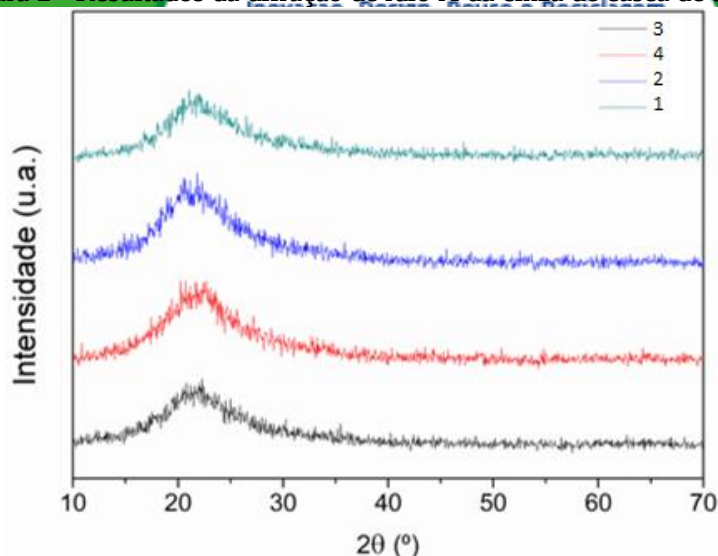
(b)

Fonte: autores, 2017.

A Figura 2 apresenta o difratograma das amostras de cinza. Comparando-se os resultados obtidos por Cordeiro et al. (2014) nas temperaturas de interesse com os resultados apresentados na Figura 2, afirma-se que as amostras queimadas à 700 °C são amorfas, pois não apresentaram o pico referente à cristobalita obtido na amostra queimada à 800 °C. Além disso, o difratograma da amostra queimada à 650 °C é aproximado ao das amostras queimadas à 700°C. Nesta análise não observou-se nenhuma diferença na cristalinidade quanto ao processo de lavagem e o de queima em atmosfera diferentes.



Figura 2 - Resultados da difração de raio X da cinza de casca de arroz.



Legenda: 1: processo de lavagem e queima em atmosfera inerte; 2: apenas queima em atmosfera inerte; 3: apenas queima em atmosfera oxidante; 4: processo de lavagem e queima em atmosfera oxidante.

A Tabela 1 apresenta a composição química das cinzas. Consta-se através da análise da Tabela 1 que a cinza lavada e queimada em forno do tipo mufla sem controle da atmosfera (amostra 4) apresentou o maior percentual de sílica. Além de não apresentar impurezas como Cr_2O_3 e MgO , as quais foram observadas nas amostras em que o processo de lavagem não foi executado. Com isto, pode-se observar que a lavagem da casca de arroz é um processo importante que interfere na composição da cinza produzida.

Tabela 1 - Composição da cinza da casca de arroz queimada em diferentes condições.

Amostra	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Cr_2O_3 (%)	K_2O (%)	CaO (%)	SO_3 (%)	P_2O_5 (%)	MnO (%)	MgO (%)	Al_2O_3 (%)	NiO (%)
1	91,82	3,18	0,00	1,35	1,42	0,95	0,63	0,40	0,00	0,14	0,11
2	91,78	3,09	0,00	1,57	1,15	0,98	0,71	0,34	0,18	0,10	0,10
3	91,02	2,68	1,62	1,39	1,00	0,95	0,66	0,35	0,13	0,11	0,10
4	93,63	2,37	0,00	1,01	1,09	0,85	0,51	0,32	0,00	0,13	0,09

Legenda: 1: processo de lavagem e queima em atmosfera inerte; 2: apenas queima em atmosfera inerte; 3: apenas queima em atmosfera oxidante; 4: processo de lavagem e queima em atmosfera oxidante.

4.2. Alumínio

A Figura 3 ilustra os resíduos de alumínio e os lingotes produzidos através do processo de fundição. Ao total, foram fundidos 35 kg de resíduos de alumínio para a produção de 31,6 kg de alumínio em forma de lingotes. Os 3,4 kg restantes são referentes a escória produzida durante o processo. Assim, obtém-se um rendimento de 90% na fundição deste material.



Figura 3 - (a) alumínio oriundo da indústria, e (b) lingote produzido.



Fonte: autores, 2017.

Latas de alumínio (latas de bebidas) oriundas do processo de reciclagem de resíduos foram utilizadas neste processo como fonte de alumínio. O processo de fundição das latas de alumínio gera uma alta porcentagem de escória devido à constituição das latas (tintas, verniz e outros metais). Separou-se 64,56 kg de latas e estas foram amassadas para facilitar o processo de fundição e diminuir o volume para estocagem. Através do processo de fundição, obteve-se 33,58 kg de alumínio. Como já era esperado, 30,97 kg de escória foram produzidos. Assim, o rendimento deste processo foi de 52 %. A Figura 4 expõe o volume de latas amassadas (aproximadamente 4782 latas) e o lingote obtido através do processo de fundição. O processo de fundição não utilizou nenhum fluxo para otimizar o procedimento de separação da escória do metal líquido, visto que o objetivo é o de diminuir a utilização de outros materiais ao mínimo para gerar o menor impacto ambiental.

Figura 4 - (a) volume de latas amassadas e (b) lingote produzido através da fundição das latas.



Fonte: autores, 2017.

A Tabela 2 apresenta a composição química dos lingotes de alumínio produzidos a partir de duas fontes. Através da análise da composição pode-se observar que o elemento majoritário nos dois casos é o alumínio, representando 96,6 % para as latas de alumínio e 98,5 % para o alumínio oriundo da indústria, como era esperado. Os outros elementos constituintes eram previstos pois foram utilizados resíduos de alumínio para a pesquisa. A pureza do lingote produzido com latas de alumínio foi menor em virtude de vários outros elementos que são utilizados para a fabricação das latas, como tintas e vernizes.

Tabela 2 - Composição química dos lingotes de alumínio produzidos.

Amostra	Al (%)	Mg (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Si (%)
1	96,67	1,49	0,74	0,56	0,18	0,18
2	98,54	0,43	0,09	0,22	0,05	0,58

Legenda: 1: alumínio oriundo de latas de bebidas; 2: alumínio oriundo de indústria metalúrgica.



O presente trabalho apresenta os resultados de caracterização de resíduos oriundos de diferentes tipos de indústrias. A intensão com esta pesquisa foi de caracterizar os resíduos de alumínio e a cinza da casca de arroz objetivando uma futura utilização destes materiais na produção de um compósito de matriz metálica, empregando técnicas de produção mais limpa nestes dois tipos de indústrias (arrozeira e metalúrgica).

Assim, os resultados obtidos são muito promissores e pode-se observar que os resíduos industriais e de consumo podem servir como matérias primas para outros produtos, diminuindo assim o impacto ambiental que iria ser gerado, visto que ambos os resíduos são produzidos em grande escala. Como sugestão para a continuidade desta pesquisa, serão elaboradas diversas amostras com diferentes composições de cinza de casca de arroz e alumínio, visando a obtenção de um material com características aprimoradas.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à CAPES pela concessão da bolsa de estudos, à UFRGS e a UNISC pelas análises realizadas e à empresa de Cachoeira do Sul pela casca de arroz doada.

6. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

ABAL, A. B. d. A. Fundamentos e Aplicações do Alumínio. São Paulo: Abal, 2007.

_____. Estatísticas nacionais: Alumínio primário. 2017a. Disponível em: <
<http://www.abal.org.br/estatisticas/nacionais/aluminio-primario/producao-mensal/>>. Acesso em:
02/03/2017.

_____. Reciclagem no brasil. 2017b. Disponível em: <
<http://www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/reciclagem-no-brasil/>>. Acesso em: 08/03/2017.

ATKINS, P. W.; JONES, L. Princípios da química: questionando a vida moderna e o meio ambiente 5. Bookman Companhia, 2012. ISBN 0-7167-3596-2.

CONAB. Séries históricas. Companhia Nacional de Abastecimento, 2017. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=1#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 11/01/2017.

CORDEIRO, L. d. N. P.; MASUERO, Â. B.; DAL MOLIN, D. C. C. Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de refinamento de Rietveld. 2014. ISSN 1517-7076.

DAVID, E.; KOPAC, J. Hydrolysis of aluminum dross material to achieve zero hazardous waste. Journal of Hazardous Materials, v. 209–210, p. 501-509, 3/30/ 2012. ISSN 0304-3894. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412000957>>.

DE SOUZA, M. et al. Rice hull-derived silica: applications in Portland cement and mullite whiskers. Materials Research, v. 3, n. 2, p. 25-30, 2000. ISSN 1516-1439.

DE SOUZA, M.; MAGALHÃES, W.; PERSEGIL, M. Silica derived from burned rice hulls. Materials research, v. 5, n. 4, p. 467-474, 2002. ISSN 1516-1439.

DELLA, V. P. et al. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. Química Nova, v. 29, n. 6, p. 1175, 2006. ISSN 0100-4042.



DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. Química nova, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001. ISSN 0100-4042.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Rice husk ash as an alternate source for active silica production. Materials Letters, v. 57, n. 4, p. 818-821, 2002. ISSN 0167-577X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X02008790> >.

DOS SANTOS, M. R.; TEIXEIRA, C. E.; KNISS, C. T. Avaliação de desempenho ambiental na valorização de resíduos sólidos de processos industriais. Revista de Administração da UFSM, v. 7, p. 75-92, 2014. ISSN 1983-4659.

FERNANDES, I. J. et al. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a sua utilização como biomassa. 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2015.

FERNANDES, L.; SABINO, M.; ROSSETTO, H. Method of extration of silica from rice hull. Cerâmica, v. 60, n. 353, p. 160-163, 2014. ISSN 0366-6913.

HAMAD, M. A.; KHATTAB, I. A. Effect of the combustion process on the structure of rice hull silica. Thermochimica Acta, v. 48, n. 3, p. 343-349, 1981. ISSN 0040-6031. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040603181802559> >.

IAI, I. A. I. Statistics: Primary Aluminium Production. 2017. Disponível em: < <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/#map> >. Acesso em: 02/03/2017.

IBGE, I. B. d. G. e. E., 2015. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201604_7.shtm >. Acesso em: 17/05/2016.

JUNIOR, A.; DINIZ, M. J. Produção de nanopartículas de silício embebidas em uma matriz de alumínio via técnica de melt spinner. 2014.

LI, Y. et al. A new method of comprehensive utilization of rice husk. Journal of Hazardous Materials, v. 186, n. 2-3, p. 2151-2156, 2/28/ 2011. ISSN 0304-3894. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411000355> >.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. Revista Gestão Industrial, v. 8, n. 1, p. 219-232, 2012. ISSN 1808-0448.

MA, Y. et al. Comprehensive utilization of the hydrolyzed productions from rice hull. Industrial Crops and Products, v. 33, n. 2, p. 403-408, 3// 2011. ISSN 0926-6690. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669010002840> >.

MAPA, M. d. A. Arroz. 2016. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz> >. Acesso em: 17/05/2016.

MARTINS, M. R. S.; DA SILVA, J. G. F. O sistema de gestão ambiental baseado na ISO 14000: Importância do instrumento no caminho da sustentabilidade ambiental. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, n. 4, p. 1460-1466, 2015. ISSN 2236-1170.

MENEZES, R. et al. Obtenção de mulita porosa a partir da sílica da casca de arroz e do acetato de alumínio (Porous mullite obtained using silica from rice husk and aluminum acetate). Cerâmica, v. 54, p. 245-252, 2008.



PATEL, M.; KARERA, A.; PRASANNA, P. Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk. Journal of Materials Science, v. 22, n. 7, p. 2457-2464, 1987. ISSN 0022-2461.

PENHA, R. S. et al. Casca de arroz quimicamente tratada como adsorvente de baixo custo para a remoção de íons metálicos (Co^{2+} e Ni^{2+}). Revista Virtual de Química, 2016. ISSN 1984-6835.

PEREIRA, A. M. et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. Matéria (Rio de Janeiro), v. 20, n. 1, p. 227-238, 2015. ISSN 1517-7076.

SANTOS, M. C. et al. Machining of aluminum alloys: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, p. 1-14, 2016. ISSN 1433-3015. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-8431-9> >.

SHINZATO, M. C.; HYPOLITO, R. Solid waste from aluminum recycling process: characterization and reuse of its economically valuable constituents. Waste Management, v. 25, n. 1, p. 37-46, // 2005. ISSN 0956-053X. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X04001412> >.

YALÇIN, N.; SEVINÇ, V. Studies on silica obtained from rice husk. Ceramics International, v. 27, n. 2, p. 219-224, 2001. ISSN 0272-8842.