



## Avaliação da capacidade pozolânica do resíduo de beneficiamento de ágata

**Carolina Bernhard<sup>1</sup>, Larissa T. Dullius<sup>1</sup>, Eniz C. Oliveira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade do Vale do Taquari/UNIVATES ([carolina1bem@hotmail.com](mailto:carolina1bem@hotmail.com));  
([larissatoledo31@gmail.com](mailto:larissatoledo31@gmail.com)); ([eniz@univates.br](mailto:eniz@univates.br))

### Resumo

A indústria brasileira de extração de gemas e comercialização de pedras preciosas e semipreciosas gera inúmeros resíduos durante os vários processos de beneficiamento. Esta pesquisa buscou testar a pozolanicidade do pó de ágata remanescente dos processos industriais de uma jazida do município de Teutônia/RS para possível substituição do material cimentício na produção de concreto. O resíduo foi submetido a ensaios de caracterização química (Difração de Raio X e Fluorescência de Raio X) e física (granulometria a laser e índice de desempenho com cimento Portland). Os resultados do pó de ágata, quando comparados às exigências para matérias pozolânicos da NBR 12653 (ABNT, 2014), apresentaram valores de índice de desempenho para resistência à compressão axial com 28 e 63 dias abaixo do mínimo exigido pela norma. No entanto, o ganho de resistência entre as duas idades para os corpos-de-prova com a incorporação do pó de ágata insinua a possibilidade de reações pozolânicas, porém com desenvolvimento lento ao longo da idade.

Palavras-chave: Pó de ágata, Resíduo, Pozolanicidade.

Área Temática: Resíduos sólidos.

## Evaluation of the pozzolanic capacity of the agate processing residue

### *Abstract*

*The Brazilian industry of gemstones extraction and commercialization of precious and semi-precious stones generates numerous residues during the various processes of beneficiation. This research aimed to test the pozzolanicity of the remaining agate powder from the industrial processes of a mine in the city of Teutônia, RS, for possible replacement of cement material in concrete production. The residue was subjected to chemical characterization tests (X-Ray Diffraction and X-Ray Fluorescence) and physical (laser particle size and performance index with Portland cement). The results of the agate powder, when compared to the requirements for pozzolanic materials of NBR 12653 (ABNT, 2014), presented values of performance index for resistance to axial compression with 28 and 63 days below the minimum required by the standard. However the gain of resistance between the two ages for the specimens with the incorporation of the agate powder suggests the possibility of pozzolanic reactions, but with slow development along the age.*

*Key words:* Agate powder, Residue, Pozolanicity

*Theme Area:* Solid wast.



## 1 Introdução

O Brasil possui uma grande variedade de Províncias Gemológicas que favorecem a mineração, beneficiamento e comercialização de pedras preciosas. No cenário atual, o mercado de extração de gemas é voltado para a exportação. Costa (2007) afirma que, de toda a produção brasileira, apenas 10% é absorvida internamente. O Rio Grande do Sul contribui com 50,5% do total de exportações devido às significativas jazidas de ágatas e ametistas.

O Estado também conta com pólos industriais de beneficiamento, comércio e serviços voltados à produção de artefatos e joias (COSTA, 2007). Estes pólos destacam a existência de Arranjos Produtivos Locais (APL), que se caracterizam desde a extração dos geodos até o beneficiamento e comercialização (BATISTI; TATSCH, 2012). Ametista do Sul, Guaporé, Lajeado e Soledade, são exemplos de municípios com APL (SILVA; SCHNEIDER, 2015).

No setor de beneficiamento e serviços os processos adotados são corte de pedras, britagem, lavagem, tingimento, lapidação e acabamento final (SILVA; SCHNEIDER, 2015). Estes processos são artesanais devido às tecnologias ultrapassadas e falta de padronização nas etapas. O resultado disso é a baixa produtividade que limita a competitividade, em consequência dos baixos valores agregados às peças produzidas (BATISTI; TATSCH, 2012).

A carência de tecnologia também acaba gerando grandes quantidades de resíduo dentro do processo de beneficiamento. No estudo de Sindelar, Barden e Stulp (2013), observou-se que apenas 65% do total de peças produzidas pelo setor chegam à conformidade ao final dos processos. E, ao fazer a análise do volume inicial de matéria-prima utilizada, apenas 15% torna-se produto final acabado, sendo o restante transformado em resíduo.

Os principais resíduos do processo são: lodo de gemas, o qual é composto por uma mistura de pó de pedras, óleo naval e pequenos restos das pedras cortadas; e, os cacos de pedras (Sindelar, Barden, Stulp, 2013). Segundo Bruxel (2012), a composição química do resíduo (lodo de gemas) quando reduzido a pó de pedra, é composta por 94,77% de sílica, o que se equipara à composição dos agregados finos e dos materiais pozolânicos.

Os materiais pozolânicos são materiais naturais ou artificiais que contém em sua composição a sílica na forma ativa. Ou seja, são materiais que possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante por si só. Porém, quando finamente moídos e em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) formando compostos com propriedades aglomerantes. Segundo a NBR 12653 (ABNT, 2014) as pozolanas podem ser divididas em três classes, conforme Tabela 1, de acordo com a composição.

Tabela 1 - Requisitos para caracterizar um material pozolânico

<b>Requisitos químicos (%)</b>			
Propriedades	Classe N	Classe C	Classe E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70$	$\geq 70$	$\geq 50$
$\text{SO}_3$	$\leq 4$	$\leq 5$	$\leq 5$
Teor de umidade	$\leq 3$	$\leq 3$	$\leq 3$
Perda ao fogo	$\leq 10$	$\leq 6$	$\leq 6$
Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2\text{O}$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
<b>Requisitos físicos (%)</b>			
Material retido na peneira com abertura de malha de 45 $\mu\text{m}$	< 20	< 20	< 20
Índice de atividade pozolânico com cimento aos 28 dias	$\geq 90$	$\geq 90$	$\geq 90$

Classe N: pozolanas naturais ou artificiais

Classe C, matérias como cinza volante, proveniente da queima de carvão mineral

Classe E, qualquer material que não se encaixe nas classificações anteriores

Fonte: adaptado com base na ABNT NBR 12653 (2014, p. 3 – 4).

De acordo com Netto (2006), há uma forte investigação de materiais com características pozolânicas para utilização na construção civil. Neste contexto, os novos



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

materiais pozolânicos, não convencionais, se enquadram na Classe E da NBR 12653 (ABNT, 2014), como é o caso da sílica proveniente da cinza de casca de arroz (CCA). Della, Kühn e Hotza (2002), comprovaram que a casca de arroz transformada em cinza através da queima a 700°C por 6 h e moída na faixa entre 0,6 e 0,7 µm resulta em um grau de pureza de sílica quimicamente ativa de 95%. Quando empregada na dosagem de concreto em substituição parcial do cimento em valores de 5 a 10%, Pereira et al. (2015) comprovaram que a sílica proveniente da CCA favorece o ganho de resistência à compressão axial em até 24% quando comparado a corpos-de-prova de concreto convencional.

A utilização de materiais recicláveis como pozolanas na tecnologia do concreto proporciona ganhos ambientais e econômicos. Nesse contexto, essa pesquisa objetiva investigar a pozolanicidade do resíduo de beneficiamento de pedras preciosas, em específico o lodo de gemas reduzido ao pó de pedra e fragmentos, de uma indústria beneficiadora de ágata. A análise consiste em testar a viabilidade do material quando em substituição ao cimento Portland para posterior utilização na construção civil.

### 2 Materiais e métodos

O resíduo foi coletado em uma indústria colaboradora da cidade de Teutônia/RS, na sua forma bruta, lodo de gema. Baseando-se na NBR NM 26 (ABNT, 2001), foram coletadas três porções aproximadamente iguais a partir de três tonéis aleatórios, de maneira a totalizar uma massa de 25 kg. Antes da realização dos testes de caracterização em laboratório, foi realizada a retirada do óleo naval por tombamento em betoneira com adição de água, o que possibilita trabalhar apenas com o pó de ágata descartado no processo de beneficiamento.

Segundo a NBR NM 27 (ABNT, 2001), uma amostra de resíduo correspondente a 25% dos 25 kg recolhidos na indústria foi separada para secagem em estufa a  $110 \pm 10$  °C por 24 horas, e posteriormente foi resfriada para dar sequência à realização dos ensaios.

A composição química do pó de ágata foi identificada através do método de Fluorescência de Raios X (FRX). A FRX analisa as transições eletrônicas entre camadas de valência quando submetidos ao raio x, resultando na identificação dos óxidos em base calcinada a 1000 °C. O ensaio foi realizado por um laboratório contratado e habilitado, com o uso do equipamento Philips P2400 X'Pert com pastilhas de calibração para detecção dos elementos. O procedimento seguiu a NBR ISO 12677 (ABNT, 2011), sendo a amostra de pó de ágata calcinada a  $1000 \pm 10$  °C para a preparação de pastilhas fundidas.

A composição mineralógica também foi realizada por um laboratório contratado, o qual se utilizou da Difração de Raios X (DRX). A técnica de DRX é a mais indicada para a determinação de fases cristalinas dos sólidos, pois analisa a distância entre os planos cristalinos representadas por picos na incidência de diferentes comprimentos de onda de raio x. O ensaio foi realizado com o equipamento Philips X'Pert Pro PW 3040/00, com radiação de cobre operando a 40 kV e 40 mA, com  $\theta$  variando entre 5° a 75°, passo 0,02° e tempo de contagem de 5s/passo. Os picos estabelecidos foram comparados com padrões tabelados pelo banco de dados da *International Union of Crystallography*.

A análise granulométrica do resíduo foi realizada a *laser*, onde uma amostra de massa igual a 121 g foi dispersa em água e testada em um laboratório colaborador, por meio do analisador CILAS 1180 Liquid com faixa de análise entre 0,04 µm a 2.500 µm. A análise granulométrica por peneiramento expressa pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) não foi realizada. Mesmo sendo comum para caracterizar fisicamente novos materiais, o ensaio limita-se à peneira de malha 75 µm. Porém, para a análise do potencial pozolânico do resíduo é necessário conhecer o percentual de material retido na abertura de malha de 45 µm.

A determinação do índice de atividade pozolânica do pó de ágata seguiu o ensaio descrito pela NBR 5752 (ABNT, 2015), em conjunto com a norma de apoio NBR 7215



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

(ABNT, 1996). Foram misturados 2 tipos de argamassa: Argamassa A para referência; e, Argamassa B com substituição parcial do cimento pelo pó de ágata. A quantidade de materiais utilizadas em cada argamassa está disposta na Tabela 2. Os materiais foram misturados na Amassadeira da marca Pavitest modelo I-3010 da Contenco Indústria e Comércio LTDA. A Figura 1 apresenta as frações de areia utilizadas para compor o traço das argamassas.

Tabela 2 - Quantidade de materiais para moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos

Material	Massas (g)	
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento <sup>a</sup>	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozolânico <sup>d</sup>	-	156 ± 0,2
Areia normal	1872 <sup>b</sup>	1872 <sup>b</sup>
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Aditivo superplastificante	-	<sup>c</sup>

Notas:

- <sup>a)</sup> O cimento utilizado foi o CP II-F-40;
- <sup>b)</sup> A areia foi disposta em 4 frações de 468 ± 0,3 g, conforme ilustração da Figura 1.
- <sup>c)</sup> A quantidade de aditivo utilizado foi de 0,45g de aditivo representando 0,096% da massa total de cimento dentro da Argamassa B. Sendo o suficiente para manter a consistência normal da Argamassa B (23,83 cm) em ± 10 mm do obtido com Argamassa A (24,7 cm), quando testado o espalhamento na *flow table* conforme NBR 7215 (ABNT, 1996);
- <sup>d)</sup> O resíduo de pó de ágata assumiu a quantidade de material pozolânico.

Fonte: adaptado da NBR 5752 (ABNT, 2014, p. 3) com notas de autoria própria.

Figura 1 - Frações granulométricas da areia utilizadas para ensaio



(a) areia fina; (b) areia média fina; (c) areia média grossa; (d) areia grossa. Fonte: autoria própria (2017).

Para cada argamassa foram moldados 6 corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro interno de  $50 \pm 0,1$  mm e altura de  $100 \pm 0,2$  mm segundo a NBR 7215 (ABNT, 1996). A cura dos mesmos seguiu em câmara úmida durante 28 e 63 dias, até o momento do ensaio de ruptura por compressão realizado em uma prensa hidráulica modelo SSH300 da Linha PC, marca EMIC, com capacidade de 2000 kN e carregamento na faixa de  $0,5 \pm 0,2$  MPa/s. A média dos valores de resistências obtida para as argamassas foi empregada na Equação 1.

$$Icimento = \frac{fcB}{fcA} * 100 \quad (1)$$

*Icimento*: índice de desempenho do material para o período de tempo até ruptura (%);  
*fcA, fcB*: resistência à compressão para Argamassas A e B (MPa);

### 3 Resultados e discussões

Através do teste de FRX, cujo resultado está expresso na Tabela 3, pode-se observar que o principal constituinte do pó de ágata é o SiO<sub>2</sub> (dióxido de silício ou sílica) com teor de 97,43%. A quantidade expressiva de sílica para a amostra vai de encontro ao valor de 94,77% encontrado por Bruxel et al. (2012) para resíduos do beneficiamento de ágatas e ametistas.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

A relação entre o valor de perda ao fogo, 1,95%, quantidade de álcalis disponíveis no  $\text{Na}_2\text{O}$  (óxido de sódio), 0,07%, e o somatório dos percentuais de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  (óxido de alumínio) +  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (óxido de ferro), 97,8%, permite enquadrar o resíduo de pó de ágata na classificação química de Classe E dos materiais pozolânicos (Tabela 4). O percentual de  $\text{SO}_3$  (trióxido de enxofre) não foi analisado pela FRX. E, todos os ensaios foram realizados após a secagem do material em estufa, logo considera-se próximo a zero o teor de umidade.

Tabela 3 - Caracterização química do pó de ágatas

Composto	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	PF*
(%)	0,13	<0,05	0,24	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	97,43	<0,05	1,95

PF: perda ao fogo (indica a presença de compostos voláteis, ou seja, queima ou decomposição de materiais orgânicos, e perda de água, desidratação, dos compostos).

Fonte: autoria própria (2017).

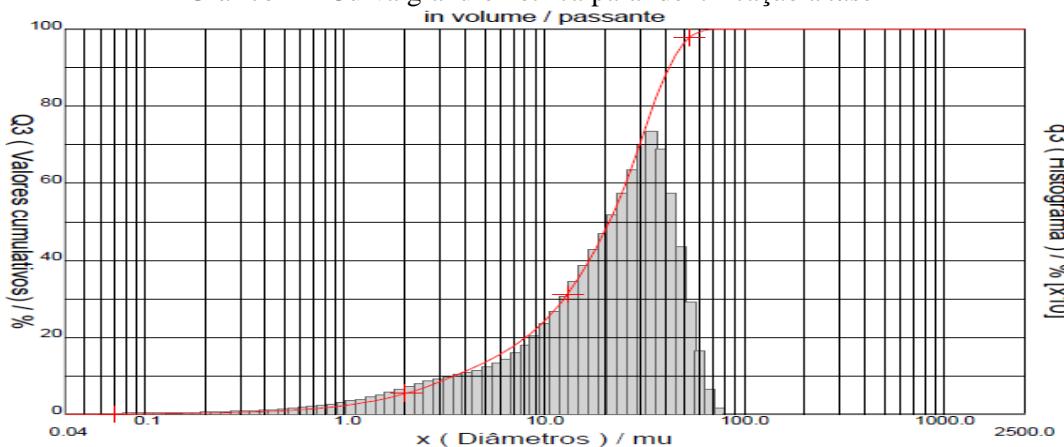
Tabela 4 – Comparação da caracterização química do pó de ágata com a Classe E das pozolanas

Propriedades químicas	Classe E	Pó de ágata
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 50$	97,8
$\text{SO}_3$	$\leq 5$	-
Teor de umidade	$\leq 3$	$\leq 3$
Perda ao fogo	$\leq 6$	1,95
Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2\text{O}$	$\leq 1,5$	0,07

Fonte: autoria própria (2017).

O alto valor de sílica, 97,43% também se equipara aos 95% encontrados por Della, Kühn e Hotza (2002) na cinza de casca de arroz. No entanto, apenas as exigências químicas da NBR 12653, não afirmam a pozolanicidade do pó de ágata dentro de misturas cimentícias. Sendo assim, em complemento, a caracterização física correspondente ao ensaio de granulometria a *laser* do pó de ágata, identificou que apenas 6,79% de toda amostra utilizada ficou retida na peneira com abertura de malha de 45  $\mu\text{m}$  (Gráfico 1). Além disso, segundo Cordeiro, Toledo Filho e Fairbairn (2009) a determinação da granulometria média é importante para entender a possível variação da atividade pozolânica de certos materiais, deste modo identificou-se como diâmetro médio de grão do pó de ágata o valor de 22,19  $\mu\text{m}$ .

Gráfico 1 – Curva granulométrica para identificação a *laser*



A Tabela 5 indica as resistências à compressão axial alcançadas pelas duas argamassas. O índice de atividade pozolânica aos 28 dias foi obtido com a média destas resistências quando empregadas na Equação 1. A comparação com os valores mínimos da NBR 12653 (ABNT, 2014) para caracterização física da Classe E encontra-se na Tabela 6.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Tabela 5 - Resistência para as argamassas e índice de atividade pozolânica para idade de 28 dias

Tipos	Argamassa A	Argamassa B	Índice de atividade pozolânica (%)
Ensaio	Resistência à compressão (Mpa)	Resistência à compressão (Mpa)	
Valores	40,61 41,39 39,7	23,69 25,81 26,24	- - -
Média	40,56	25,24	62,235
Desvio padrão	0,845	1,36	-

Fonte: autoria própria (2017).

Tabela 6 – Comparação da caracterização física do pó de ágata com a Classe E das pozolanas

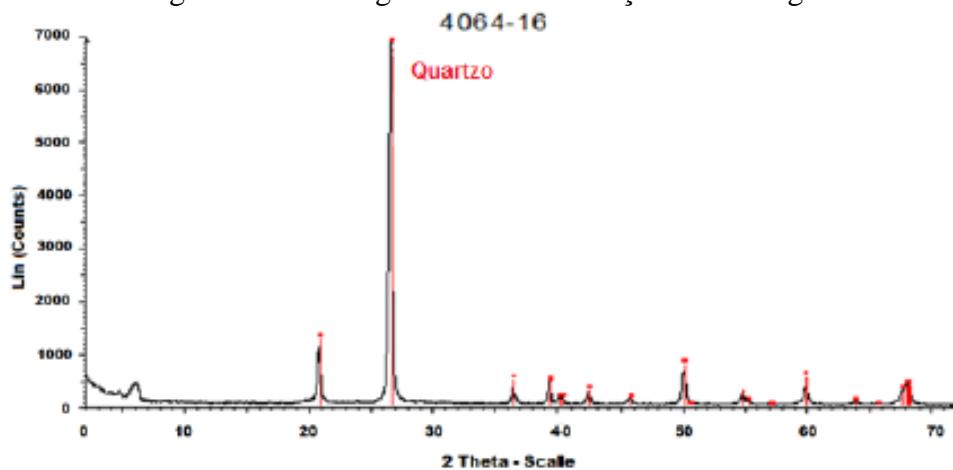
Propriedades físicas	Classe E	Pó de ágata
Material retido na peneira com abertura de malha de 45 µm	< 20	6,79
Índice de atividade pozolânico com cimento aos 28 dias	≥ 90	62,235

Fonte: autoria própria (2017).

De acordo com a Tabela 6, observa-se que o resíduo de pó de ágata testado para 28 dias não se caracteriza como material pozolânico, mesmo se enquadrando nos requisitos químicos e na faixa granulométrica da NBR 12653 (ABNT, 2014). O fato se assemelha ao estudo de Cordeiro, Toledo Filho e Fairbairn (2009), os quais avaliaram a atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), cujo maior percentual de grãos, 70%, compreendeu-se entre 3 e 30 µm, porém não se classificou como material pozolânico.

O baixo resultado para atividade pozolânica revela a inexistência de fases ativas dentro do composto de dióxido de silício, o que impede a reação com o hidróxido de cálcio, e consequente formação dos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) responsáveis pela aglutinação entre os agregados do concreto. O que implica na afirmação de que a sílica presente no pó de ágata encontra-se em estado cristalino, logo inerte às reações químicas (DUART, 2008). Este estado cristalino surge da supremacia de minerais de quartzo na amostra do resíduo que pode ser comprovado pela análise mineralógica dada pela Figura 2.

Figura 2 – Difratograma de identificação mineralógica



Cook (1986) *apud* Netto (2006) afirma que nas misturas de cimento e/ou cal com adições minerais de pozolanas o ganho de resistência pode ocorrer lentamente ao longo da idade, e em muitas situações o consumo de hidróxido de cálcio pode não ter relação com o aumento da resistência. Neste contexto, o índice de desempenho também foi testado para 63



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

dias. No entanto, conforme dado da Tabela 7, o valor alcançado, 77,32%, ainda se encontra abaixo do mínimo da norma. Porém, é notável o crescimento da resistência nos corpos-de-prova com o pó de ágata. Entre a idade de 28 e 63 dias, a resistência de elevou em 24,56%.

Tabela 7- Resistência para as argamassas e índice de atividade pozolânica para idade de 63 dias

Tipos	Argamassa A	Argamassa B	
Ensaio	Resistência à compressão (Mpa)	Resistência à compressão (Mpa)	Índice de atividade pozolânica (%)
Valores	42,29	29,39	-
	41,17	33,7	-
	38,54	31,24	-
Média	40,67	31,44	77,323
Desvio padrão	1,93	2,16	-

Fonte: autoria própria (2017).

O notável crescimento da resistência ao longo da idade pode estar fundamentado pela finura dos grãos do resíduo (diâmetro médio de 22,19 µm) e pelas reações que se intensificam ao longo do tempo em decorrência do refinamento dos poros (DUART, 2008). Assim, as partículas finas não reativas, durante o estado plástico, podem ter se alojado nos interstícios da pasta cimentícia favorecendo a aproximação dos grãos de areia. O que em estado endurecido, resultou no efeito físico “filler” de redução dos poros, tornando o conjunto mais denso e compacto. Onde, o encaixe entre as partículas de pó de ágata e as diferentes frações de areia, pode ter atendido a ideia do proporcionamento de grãos de McGARRY (1961) citada por Silva e Campiteli (2006), a qual indica que os vazios deixados por grãos maiores são preenchidos pelas partículas menores e assim sucessivamente, ocasionando modificações tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

## 4 Conclusões

Remetendo os resultados do pó de ágata à NBR 12653 (ABNT, 2014), o estudo revela a inexistência de pozolanicidade mesmo com o atendimento a todas as especificações químicas. No entanto, alguns autores como Duart (2008), e Cook (1986) *apud* Netto (2006), afirmam que as reações pozolânicas podem vir a acontecer ao longo de maiores idades.

No momento, destinos alternativos e sustentáveis já foram encontrados para o resíduo de beneficiamento, porém considerando-o como agregado de substituição parcial a outros agregados convencionais, como as areias (MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2013) e britas menores (BETAT; PEREIRA; VERNEY, 2009). De qualquer modo, reaproveitar os rejeitos industriais contribui para a manutenção dos recursos naturais e diminuição de sua exploração. Em estudos futuros, o resíduo de pó de ágata pode ser novamente testado em busca da afirmação do efeito filler. E também, pode ser executado um novo teste de índice de desempenho de atividade pozolânica com cimento Portland para maiores idades, de modo a insistir na descoberta de novas possibilidades e garantir um destino cada vez mais sustentável para os resíduos de beneficiamento de pedras preciosas e semipreciosas.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752: Materiais pozolânicos - determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

- \_\_\_\_\_. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12653:** Materiais Pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 26:** Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- \_\_\_\_\_. **NBR NM 27:** Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

BATISTI, Vanessa de Souza; TATSCH, Ana Lúcia. O Arranjo Produtivo Local (APL) gaúcho de gemas e joias: estruturas produtiva e comercial, arranjos institucional e educacional e relações interorganizacionais. **Revista Ensaios Fee**, Porto Alegre, v. 33, p.513-538, 2012.

BETAT, Everton Fagundes; PEREIRA, Fernanda Macedo; VERNEY, José Carlos Krause de. Concretos produzidos com resíduos do beneficiamento de ágata: avaliação da resistência à compressão e do consumo de cimento. **Revista Matéria**, v. 14, n. 3, p.1047-1060, 2009.

BRUXEL, Fernando Roberto; OLIVEIRA, Eniz Conceição; STÜLP, Simone; MULLER C. S.; ETCHEPARE, Hélio D. Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, v. 58, n. 2, p. 211–215, 2012.

CORDEIRO, Guilherme Chagas; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. **Química Nova**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 1, p.82-86, 2009.

COSTA, Manfred. **Beneficiamento de Pedras Preciosas no Vale do Taquari - Diagnóstico e Modelo para Análise e Redução de Perdas nos Processos Produtivos**. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

DELLA, Viviana Possamai; KÜHN, Ingeborg; HOTZA, Dachamir. **Obtenção de sílica de alta pureza a partir do tratamento da cinza de casca de arroz**. In: II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. João Pessoa/PB, ago. 2002.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008

NETTO, Rafael M.. **Materiais Pozolânicos**. 2006. 149 f. TCC (Graduação) - Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SILVA, Narciso Gonçalves da; CAMPITELI, Vicente Coney. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). Florianópolis/SC, ago. 2006.

SILVA, Rodrigo de Almeida; SCHNEIDER, Ivo André H. Geração de Resíduos no Processamento de Ágatas. **Revista de Engenharia Civil Imed**, Passo Fundo/RS, v. 1, n. 2, p.11-16, 2015.

SINDELAR, Fernanda Cristina W.; BARDEN, Julia Elisabete; STÜLP, Simone. **Análise da Geração de Resíduos em uma indústria beneficiadora de gemas: um estudo de caso visando o reuso**. In: *International Workshop Advances in Cleaner Production*. SP, 2013.

PEREIRA, Adriana Maria et al. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de cinza de casca de arroz. **Revista Matéria**, v. 20, n. 1, p.227-238, 2015.

MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23., 2013, Passo Fundo. **Resumos:** Resistência à compressão e absorção de concretos convencionais utilizando resíduos de ágata como agregado miúdo. Passo Fundo: UPF, out. 2013.