



## ATIVIDADE POZOLÂNICA DA SÍLICA DA CASCA DE ARROZ PRODUZIDA POR COMBUSTÃO EM LEITO FLUIDIZADO

### POZZOLANIC ACTIVITY OF RICE HUSK SILICA PRODUCED BY COMBUSTION IN FLUIDIZED BED

Marangon, E.(1); Marton, L. F. M.(2); Soares, E. L.(3); Mendes, G. G.(3); Martins, R. P. (3); Silva, D. M. G(3).

(1) *Professor Doutor, Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa*

(2) *Engenheiro de Materiais, RHA Solutions Engenharia Ltda*

(3) *Aluno de Graduação, Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa  
Av. Tiarajú, 810, Bairro Ibirapuitã, CEP: 97546-550, Alegrete/RS*

#### Resumo

A sílica de casca de arroz (SCA) é considerada uma pozolana reativa, sendo esta produzida sob condições controladas. Um sistema inovador de combustão com leito fluidizado tem-se demonstrado altamente eficiente na produção de sílica de casca de arroz altamente amorfa e de boa qualidade. Esta tecnologia de combustão, além de melhorar a eficiência de queima, conta com um avançado sistema de automação e controle de temperatura que permite a extração da sílica da casca de arroz mantendo-a, constantemente homogênea e confiável, possibilitando sua utilização como adição/substituição parcial do cimento em dosagens de concretos e argamassas. O estudo tem como objetivo principal avaliar o potencial pozolânico da sílica de casca de arroz obtida com esta tecnologia de produção. Para alcançar os objetivos foram realizados ensaios do índice de atividade pozolânica (IAP) com o cimento Portland CII-Z e com a cal. Adicionalmente foram realizados ensaios de IAP com cimento Portland CII-Z, mantendo a relação água/aglomerante e a consistência ( $225 \pm 5$ mm) com a adição de aditivo químico superplastificante (SP) a base de policarboxilato. Na análise dos resultados foi observado que a SCA tem grande potencial de utilização. As amostras estudadas apresentaram valores de IAP com cimento, inferiores ao previsto em norma (menor que 75%). No entanto, os IAP's foram potencializados com o uso do aditivo superplastificante (IAP > 75%). Adicionalmente, foram realizados os ensaios de IAP com areia peneirada em laboratório e areia normalizada do IPT para comparação entre os resultados. Após análise estatística foi observado que não existe diferença significativa no uso das areias, seja peneirada em laboratório ou normalizada.

*Palavra-Chave: Índice de atividade Pozolânica, Adições minerais, Sílica de casca de arroz*

#### Abstract

The rice husk silica (RHS) can be considered a reactive pozzolan when produced under controlled conditions. Innovative fluidized bed combustion has been demonstrated highly efficient to producing rice husk silica amorphous and good quality. This technology, improve the efficiency of combustion, with advanced automation system and temperature controlled. This process allows the extraction of rice husk silica constantly homogeneous, which qualifying it's for use as addition or partial replacement of the cement in proportion of concrete and mortar. The objective of study is to evaluate the performance of pozzolanic using the rice husk silica obtained with this production technology. To achieve the objectives of the behavior of residual rice husk silica, tests were conducted pozzolanic activity index (PAI) with Portland cement CII-Z and lime. Further, tests were performed with PAI modified, maintaining the water/binder and consistency ( $225 \pm 5$ mm) with the addition of the chemical additive (superplasticizer). Analyzing the results it was observed that the RHS has great potential use. The samples showed values of PAI with cement, lower than expected in the standard (less than 75%). However, the PAI's were made possible with the use of superplasticizer (PAI > 75%). Additionally, tests were carried PAI with natural sand of the laboratory and normalized sand (IPT) to compare the results. After statistical analysis it was observed that there is no significant difference in the use of sands.

*Keywords: Pozzolanic Activity Index, Mineral Admixture, rice husk silica*



## 1 INTRODUÇÃO

Misturas de materiais cimentícios são muito importantes para todas as atividades da construção civil. O uso de pozolanas alternativas é comumente usado em substituição parcial do cimento Portland para reduzir os custos, aumentar o desempenho mecânico e a durabilidade de concretos e argamassas [1]. De acordo com Malhotra e Metha [2] pozolanas são definidas como materiais que contêm em sua composição química sílica e alumínio, o qual apresenta baixa ou nenhuma propriedade cimentante. De todos os resíduos agroindustriais, a cinza ou sílica de casca de arroz contém a maior proporção de sílica [3]. A casca de arroz é um subproduto do processo de obtenção dos grãos de arroz. Em condições de combustão controlada, sílica amorfa com elevada reatividade é obtida [4] [5]. No tocante à atividade pozolânica proporcionada pela sílica da casca de arroz, compostos quimicamente ativos da adição mineral podem reagir com o hidróxido de cálcio, produzido pela hidratação dos silicatos do cimento Portland, para formar novos produtos hidratados. Como o hidróxido de cálcio contribui muito pouco para a resistência da pasta de cimento e é, dentre os produtos da hidratação, o primeiro a ser solubilizado e lixiviado pela água, o seu consumo proporciona uma estrutura química e mecanicamente mais resistente o que certamente irá contribuir de forma positiva para o aumento da resistência mecânica e durabilidade das estruturas de concreto. No entanto, ensaios realizados de Índice de Atividade Pozolânica (IAP) com cimento para adições minerais altamente reativas, como a sílica de casca de arroz, mostram que o aumento do consumo de água necessário para se alcançar uma consistência adequada nas argamassas tem demonstrado influência direta nos resultados dos índices de atividade pozolânica [6] [7]. Os resultados obtidos por Rêgo [7] demonstram que o índice de atividade pozolânica é fortemente potencializado, alcançando IAP de até aproximadamente 127%, quando mantido a relação água/cimento da mistura de referência. O presente estudo indica que o aumento de água alterou a resistência mecânica da argamassa à compressão. No entanto, quando mantido a relação água/cimento a resistência à compressão manteve-se praticamente inalterada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo a metodologia foi elaborada para avaliar a atividade pozolânica da sílica da casca de arroz obtida pela queima em leito fluidizado e comercializada pela empresa Geradora de Energia Elétrica de Alegrete (GEEA) com nome fantasia de Silcca Nobre - SCI. Os ensaios foram realizados com cal, cimento Portland CII-Z e com o cimento Portland CII-Z mais o uso de superplastificante. Além disso, todos os ensaios foram realizados com areia local, peneirada em laboratório e Areia Normal Brasileira do tipo quartzoso, extraída do rio Tiete e fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT).

As frações obtidas por peneiramento em laboratório foi dividida de acordo o item 4.1 da norma NBR 7214/12 [8]. As frações possuem a denominação de Grossa (material retido entre as peneiras 2,4 e 1,2mm), Média Grossa (material retido entre as peneiras 1,2 e

0,6mm), Média Fina (material retido entre as peneiras 0,6 e 0,3mm) e Fina (material retido entre as peneiras 0,3 e 0,15mm).

O ensaio de IAP consiste basicamente em comparar os resultados médios de resistência à compressão de uma argamassa padrão moldada só com cimento e uma argamassa moldada com cimento e material pozolânico. Além disso, a consistência das argamassas deve ser padrão (espalhamento de  $225 \pm 5$ mm), analisada com o uso da mesa flow table. Os procedimentos de ensaios foram seguidos de acordo com a NBR 7215/96 [9]. A Figura 1 mostra a mesa de flow table e a máquina de ensaios mecânicos utilizadas para os ensaios.



(a)



(b)

Figura 1 – (a) Mesa Flow Table; (b) Máquina de ensaios mecânicos.

A Figura 2 mostra as curvas granulométricas do cimento Portland CII-Z, da Sílica e o difratograma da Sílica de Casca de Arroz. Nota-se na Figura 2(a) que a curva granulométrica do cimento e da sílica é praticamente idêntica. O diâmetro médio do cimento é de  $16,6 \mu\text{m}$  e o diâmetro médio da sílica de casca de arroz é de  $14,1 \mu\text{m}$ . Na Figura 2(b), observa-se que o material apresenta uma estrutura predominante amorfa, representada no difratograma pelo alargamento dos picos e aparecimento de bandas. A massa específica do cimento foi de  $2,93 \text{ g/cm}^3$  e da sílica de casca de arroz foi de  $2,03 \text{ g/cm}^3$ . Outra propriedade analisada dos materiais cimentícios foi a compactidade pelo método de demanda d'água [10]. A compactidade de cimento foi de 0,543 enquanto a compactidade da sílica foi de 0,495.

Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas da sílica de casca de arroz e do cimento Portland CP II-Z. As características da sílica da casca de arroz e do cimento permitirão análises mais elaboradas, principalmente do potencial pozolânico dessa adição mineral.

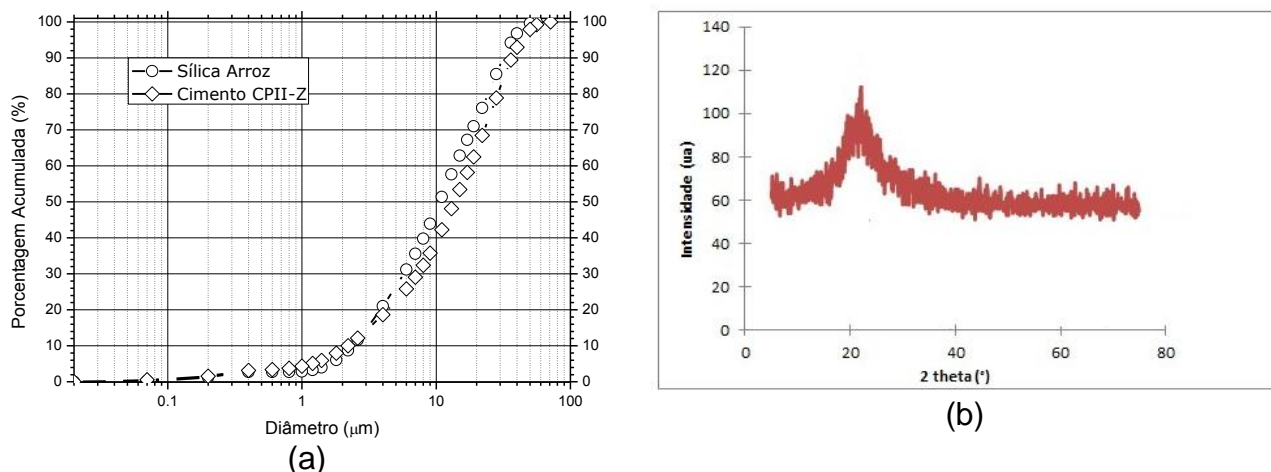


Figura 2 – (a) Curvas granulométricas: cimento Portland CII-Z e Sílica de Casca de Arroz; (b) Difrátograma da Sílica de Casca de Arroz.

É importante ressaltar que a classificação de pozolanas segundo NBR 12653/12 [11] limita o teor de perda ao fogo em um valor máximo de 6%. Dessa forma, observa-se na Tabela 1 que para a sílica em estudo esse valor está abaixo do especificado em norma. Outro fator determinante para a utilização da sílica de casca de arroz é o teor de  $\text{SiO}_2$  (91,48%) que reagirá com o hidróxido de cálcio proveniente das reações de hidratação do cimento Portland, formando silicatos de cálcio hidratado (CSH) adicionais. Com relação às impurezas encontradas na sílica de casca de arroz, tais como, óxidos de ferro, magnésio e cálcio são bastante baixos, e somam um total de 0,73%. Cabe ressaltar a área superficial encontrada para a sílica da casca do arroz, que foi de  $21142\text{m}^2/\text{kg}$ . Note que a diferença entre a área superficial da sílica é de aproximadamente 57 vezes maior que a do cimento Portland CP II-Z.

Tabela 1 – Composição química da sílica de casca de arroz e do cimento Portland CP II-Z.

Sílica de Casca de Arroz		Cimento Portland CP II-Z	
Perda ao fogo	3,50%	Perda ao fogo	5,34%
Dióxido de Silício - $\text{SiO}_2$	91,48%	Óxido de Magnésio - MgO	5,87%
Óxido de Cálcio - CaO	0,36%	Anidrido Sulfúrico - $\text{SO}_3$	2,70%
Óxido de Magnésio - MgO	0,32%	Anidrido Carbônico - $\text{CO}_2$	4,37%
Óxido de Ferro - $\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,05%	Resíduo Insolúvel - RI	12,80%
Óxido de Alumínio - $\text{Al}_2\text{O}_3$	0,00%	Equivalente Alcalino em $\text{Na}_2\text{O}$	0,74%
Óxido de Sódio - $\text{Na}_2\text{O}$	0,04%	Finura - Peneira 0,075 mm	3,10%
Óxido de Potássio - $\text{K}_2\text{O}$	1,40%	Água da Pasta de Consistência Normal	26,80%
Óxido de Manganês - MnO	0,32%	Início de Pega (min)	246
Anidrido Sulfúrico - $\text{SO}_3$	0,15%	Fim de Pega (min)	330
Pentóxido de Difósforo - $\text{P}_2\text{O}_5$	0,45%	Expansibilidade de Le Chatelier - a quente (mm)	0,55
Área Específica	$21142\text{m}^2/\text{kg}$	Área Específica	$374\text{m}^2/\text{kg}$



Para a realização dos ensaios de determinação do índice de pozolanicidade com cimento Portland CP11-Z e superplastificante (SP), o aditivo químico usado foi do tipo policarboxilato, produzido pela empresa GRACE com nome comercial ADVA CAST 527. Sua composição é apresentada Tabela 2.

Tabela 2 – Características do dispersante usado.

Aditivo Químico	pH	Porcentagem de Sólidos	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
ADVA CAST 527 - GRACE	5,0	34,0	1,06

As misturas produzidas com cimento seguiram os procedimentos estabelecidos pela NBR 5752/12 [12] enquanto que para as misturas produzidas com a cal foram seguidos os procedimentos descritos na NBR 5751/12 [13]. As misturas foram identificadas da seguinte forma:

- A1 - Mistura de cimento e areia peneirada em laboratório;
- A2 - Mistura de cimento e areia normal;
- B1 - Mistura de cimento/sílica de casca de arroz e areia peneirada em laboratório;
- B2 - Mistura de cimento/sílica de casca de arroz e areia normal;
- C1 - Mistura de cimento/sílica de casca de arroz/SP e areia peneirada em laboratório;
- C2 - Mistura de cimento/sílica de casca de arroz/superplastificante e areia normal;
- D2 - Mistura de Cal e areia normal.

### 3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Relação Água/Aglomerante - Consistência Padronizada

A Tabela 3 apresenta a relação água/aglomerante, o espalhamento e o teor de superplastificante utilizado para a produção das argamassas. É possível observar na Tabela 3 que a relação água/cimento utilizada para a argamassa de areia normal (mistura A2) foi cerca de 10 % superior à argamassa de areia peneirada em laboratório (mistura A1) quando misturadas somente com o cimento. Quando utilizado a mistura de cimento e sílica de casca de arroz (mistura B2) a relação água/cimento da areia normal apresentou um aumento de 8,9% em relação à argamassa produzida com areia peneirada em laboratório (mistura B1). O consumo menor de água das misturas com areia peneirada em laboratório deve-se ao formato dos grãos, sendo esses mais arredondados que os da areia normal, conforme pode ser observado na Figura 3.

Tabela 3 – Relações a/c obtida para o espalhamento padrão de 225±5mm.

Misturas	Relação A/C	Espalhamento (mm)	Teores de SP
A1	0,47	225,0	-
A2	0,52	225,0	-
B1	0,56	225,0	-
B2	0,61	220,0	-
C1	0,47	223,0	0,10%
C2	0,52	222,5	0,12%
D2	0,71	225,0	-

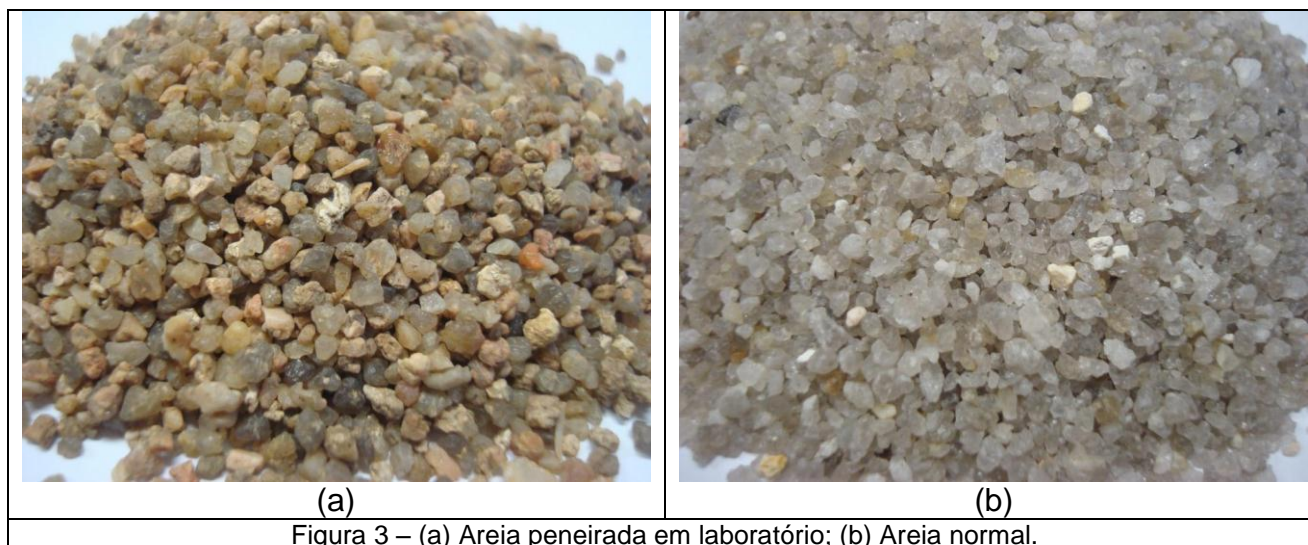


Figura 3 – (a) Areia peneirada em laboratório; (b) Areia normal.

O aumento do consumo de água da mistura B1 em relação a A1 foi aproximadamente de 19%, enquanto que para a mistura B2 em relação a A2 foi aproximadamente de 17%. As misturas do tipo C possuem a mesma relação a/c das misturas tipo A, respectivamente. Cabe ressaltar, que as misturas do tipo A, foram produzidas somente com cimento, ou seja, são as misturas de referência, enquanto que as misturas do tipo C foram produzidas com cimento e sílica de casca de arroz conforme a NBR 5752/12 [12]. Para alcançar o espalhamento padrão ( $225 \pm 5$ mm) foi utilizado aditivo químico superplastificante nas misturas do tipo C. Nota-se na Tabela 3 que as porcentagens de aditivo utilizadas para as misturas C1 e C2 foram de 0,10% e 0,12%, respectivamente. Essas porcentagens foram determinadas através de tentativas, até a obtenção do espalhamento padrão. A relação água/cal necessária para alcançar o espalhamento padrão foi de 0,71.

### 3.2 Índice de Atividade Pozolânica

A atividade pozolânica da sílica de casca de arroz foi analisada por três métodos, conforme apresentado no item 2, os quais levam em consideração a influência da pozolana no comportamento mecânico das misturas cimentícias. A Figura 4 mostra as curvas típicas de tensão x deformação das argamassas produzidas com exceção das argamassas do tipo B. Pode ser observado nas curvas típicas um comportamento muito semelhante entre elas.

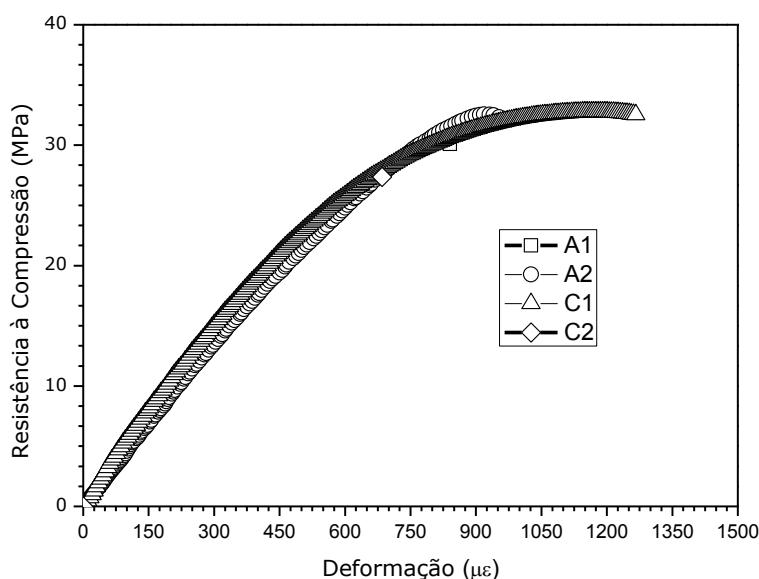


Figura 4 – Curvas típicas de Tensão x Deformação das argamassas produzidas.

A Tabela 4 apresenta os resultados de resistência à compressão, do módulo de elasticidade e do índice de atividade pozolânica das argamassas estudadas.

Tabela 4 – Resistência à Compressão, Módulo de Elasticidade e IAP das misturas estudadas.

Misturas	Resistência à Compressão			Módulo de Elasticidade			IAP com Cal (MPa)	IAP com cimento (%)	IAP com Cimento e SP (%)
	Fc (MPa)	DP (MPa)	CV	E (GPa)	DP (MPa)	CV (%)			
A1	34,84	0,78	2,67	50,64	3,56	7,04	-	-	-
A2	35,32	1,58	5,35	45,70	3,93	8,09	-	-	-
B1	20,46	0,36	2,13	-	-	-	-	58,7	-
B2	19,48	1,84	11,34	-	-	-	-	55,1	-
C1	33,66	0,67	2,38	51,26	2,92	5,69	-	-	96,6
C2	35,92	1,80	6,03	46,26	2,82	6,10	-	-	101,7
D2	6,46	0,35	7,16				1,08	-	-

De acordo com a NBR 12653/12 [11] a adição mineral é considerada material pozolânico desde que, o IAP com cimento apresente relação entre a resistência à compressão de corpos de prova produzidos com a adição mineral, e a resistência à compressão de corpos de prova de referência (somente com cimento) seja maior ou igual a 75 %. Conforme pode ser observado na Tabela 4, a resistência à compressão das argamassas de referência (amostras do tipo A) foi de aproximadamente 35 MPa (esperado o mínimo 32 MPa). Quando realizado os ensaios de IAP com sílica de casca de arroz e cimento (misturas do tipo B) foi necessário o uso de uma maior quantidade de água para obtenção do espalhamento padrão. Justifica-se, uma vez que a área superficial da sílica de casca de arroz é muito maior que a do cimento, então é necessário mais água para molhar todas as partículas. Conseqüentemente, pode ser observado na Tabela 4 que a resistência à compressão dessas argamassas do tipo B, apresentou uma queda expressiva nos resultados. Dessa forma, o IAP foi de 58,7% para a argamassa B1 e de



55,1% para a argamassa B2. Assim, as argamassas do tipo B1 e B2 não se enquadram no valor mínimo (75%), o qual caracteriza uma adição mineral como pozolânica.

Identificado o problema, uma vez que o aumento de água proporciona a redução da resistência à compressão de concretos e argamassas foram produzidas argamassas com sílica de casca de arroz e cimento, mantendo a relação água/cimento das misturas de referência. Para atingir o espalhamento necessário, conforme descrito em norma, foi utilizado um aditivo superplastificante, conforme descrito anteriormente. Nota-se então, na Tabela 4 que a resistência à compressão das argamassas produzidas por essa metodologia (misturas C1 e C2) apresentaram resistências praticamente iguais às argamassas de referência (misturas A1 e A2). Dessa forma, fica evidente que mesmo com a substituição parcial do cimento pela sílica de casca de arroz, não houve variação na resistência à compressão das amostras, o que demonstra a alta capacidade de atividade pozolânica da sílica da casca de arroz.

Foram também obtidos nos ensaios mecânicos de compressão os valores de módulo de elasticidade para as misturas de referência A1 e A2 e para as misturas C1 e C2. Conforme pode ser observado na Tabela 4 os valores do módulo de elasticidade das argamassas com areia peneirada em laboratório foi aproximadamente de 11% superior as argamassas produzidas com areia normal. No entanto, comparado às argamassas produzidas com cimento (A1 e A2) com as argamassas produzidas com sílica de casca de arroz e cimento (C1 e C2), as mesmas parecem não apresentarem diferenças significativas, respectivamente. Para comprovar que não existe diferença entre os módulos de elasticidade foi realizado uma análise estatística através do método de Tukey para um nível de probabilidade de 0,05%, o que comprovou a hipótese.

Com relação ao uso da areia peneirada em laboratório e a areia normal, foi realizada uma análise estatística dos valores de resistência à compressão. Os valores foram analisados pelo método de Tukey para um nível de probabilidade de 0,05%. De acordo com a análise, os resultados obtidos entre as mistura A1 e A2, B1 e B2, C1 e C2, não são estatisticamente diferentes. Dessa forma, pode-se concluir que é possível usar areia peneirada em laboratório e obter os mesmos resultados, caso tenha sido usado areia normalizada.

## 4 CONCLUSÕES

As principais conclusões referentes ao presente trabalho são listadas a seguir.

- Para manter o espalhamento padrão na mesa flow table das argamassas contendo cimento e sílica de casca de arroz foi necessário o uso de aproximadamente 18% a mais de água em relação às misturas de referência (contendo somente cimento). Esse aumento significativo de água se fez necessário, uma vez que a área superficial da sílica é 57 vezes maior que a do cimento. Conseqüentemente, com o aumento do consumo de água, houve a perda de resistência à compressão e assim não foi alcançado o índice de atividade pozolânica mínimo de 75%, conforme NBR 12653/12 [11].

- Quando utilizado aditivo químico superplastificante e a mesma relação água/aglomerante das argamassas de referência, o índice de atividade pozolânica foi superior ao mínimo especificado por norma. Além disso, os índices de atividade





pozolânica foram praticamente igual a 1, ou seja, mantiveram a mesma resistência à compressão das argamassas de referência.

- A resistência à compressão da argamassa produzida com sílica de casca de arroz, cal e área normal foi de 6,46 MPa aos 7 dias de idade. Segundo a NBR 12653/12 [11] a resistência à compressão deve ser igual ou superior 6,00 MPa para ser considerada uma adição mineral.

- Para manter a mesma relação água/cimento utilizada nas argamassas de cimento, quando adicionado sílica de casca de arroz foi necessário o uso de aproximadamente 0,11% de superplastificante de 3º geração.

- Comparada a resistência à compressão das amostras com areia peneirada em laboratório e areia normal, e realizada a análise estatística pelo método de Tukey ao nível de probabilidade de 0,05%, os resultados indicaram que os valores não são estatisticamente diferentes. Assim, é possível substituir a areia normal por areia peneirada em laboratório, respeitando as faixas granulométricas especificadas na NBR 7214/12 [8].

- A análise estatística realizada pelo método de Tukey para o módulo de elasticidade ao nível de probabilidade de 0,05%, também demonstrou que não há diferença significativa para essa propriedade das argamassas produzidas com cimento e as argamassas produzidas com cimento e sílica de casca de arroz.

- Obteve-se êxito na produção de argamassas com a areia peneira em laboratório.

#### Agradecimentos:

Os autores agradecem a GEEA e a Pilecco Nobre Alimentos Ltda pelo apoio financeiro para a realização destes estudos, bem como pelo auxílio das bolsas concedidas aos alunos da UNIPAMPA, que fazem parte de um projeto de pesquisa que envolve estudos da durabilidade de concretos produzidos com substituição parcial do cimento por sílica de casca de arroz, Silcca Nobre.



## 5 Referências

- [1] NAIR, D. G., FRAAIJ, A., KLAASSEN, A. A. K., KENTGNES, A. P. M.. **A Structural Investigation Relating to the Pozzolanic Activity of Rice Husk Ashes**. Cement and Concrete Research. Vol 38, 2008.
- [2] MALHOTRA, V. M.; METHA, P. K. **Pozzolanic and Cementitious Materials**. Advances in Concrete Technology. Vol 1, Gordon and Breach Publishers, Canada, 1996.
- [3] KAMIYA K., OKA, A., NASU, H., HASHIMOTO, T.. **Comparative Study of Structure of Silica Gels from Different Sources**. Journal of Sol-Gel Science and Technology 19. 495–499. 2000.
- [4] CORDEIRO, G. C.; **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana de açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese de Doutorado. COPE/UFRJ, Brasil 444p. , 2006.
- [5] CORDEIRO, G. C. FILHO, R. D. T., TAVARES, L. M., FAIRBAIN, E. M. R., HEMPEL, S.. **Influence of Particle Size and Specific Surface Area on the Pozzolanic Activity of Residual Rice Husk Ash**. Cement and Concrete Composites. V33. 529-534 pg. 2011.
- [6] RÊGO, J. H. S. **Avaliação do ensaio de Índice de Atividade Pozzolânica (IAP) com cimento para adições minerais de alta reatividade**. 41º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo, 2007.
- [7] RÊGO, J. H. S., COSTA, L. H. P., HASPARYK, N. P.. **Avaliação da Atividade Pozzolânica da Cinza da Casca de Arroz Residual (CCA) Pelo Ensaio de Índice de Atividade (IAP) com Cimento Modificado**. 53º Congresso Brasileiro do Concreto. Florianópolis, 15 pg. 2011.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Areia para Ensaio de Cimento - Especificação**. ABNT NBR 7214. 2012.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão**. ABNT NBR 7215, Rio de Janeiro, 1991.
- [10] DE LARRARD, F..
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais Pozzolânicos – Requisitos**. ABNT NBR 12653, Rio de Janeiro, 1991.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. . **Materiais Pozzolânicos – Determinação da Atividade Pozzolânica – Índice de Atividade Pozzolânica com Cal – Método de Ensaio**. ABNT NBR 5752, Rio de Janeiro, 1991.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais Pozzolânicos – Determinação da Atividade Pozzolânica – Índice de Atividade Pozzolânica com Cimento – Método de Ensaio**. ABNT NBR 5751, Rio de Janeiro, 1991.