

A influência potencial das cinzas de casca de arroz em argamassas auto adensáveis: casos da resistência mecânica e da absorção d'água

The potencial influence of rice husk ash in self compacting mortar: cases of mechanical strength and water absorption

Marco Antônio de Moraes Alcantara¹, Anna Beatriz Alves de Mello²,
Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque³

¹ Universidade Estadual Paulista - FEIS/UNESP, Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira, SP, Brasil.
e-mail: alcantar@dec.feis.unesp.br

² Universidade Estadual Paulista - FEIS/UNESP, Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira, SP, Brasil.
e-mail: eng.annabeatriz@hotmail.com

³ Universidade Estadual Paulista - FEIS/UNESP, Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira, SP, Brasil.
e-mail: maria@dec.feis.unesp.br

RESUMO

O estudo apresenta uma experiência do uso de cinzas de casca de arroz (C.C.A) para a produção de argamassas auto adensáveis. Para tanto, utilizou-se cimento CPZ II 32, areia natural, cinza de casca de arroz industrializada, superplastificante de atuação estérica e eletrostática, e água. Foram produzidos dois tipos de argamassas, sendo uma série a ser adensada com o auxílio de vibração, e uma outra série com a incorporação de C.C.A no teor de 35% com relação ao valor da massa do cimento, e de superplastificante, a ser adensada pela ação do seu peso próprio. Os valores da relação água/cimento adotados foram 0,40, 0,50 e 0,60 para os casos de argamassas vibradas e 0,68, 0,63 e 0,55 para os casos de argamassas auto adensáveis. Para os casos de argamassas vibradas foram realizados no estado fresco os ensaios de consistência com auxílio da mesa de golpes, ensaios de abatimento, e da avaliação da massa específica aparente; e para as argamassas auto adensáveis foram realizados no estado fresco os ensaios de espalhamento “slump-flow” e o ensaio de escoamento confinado com auxílio do funil; além da avaliação da massa específica aparente. No estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à compressão simples e diametral, e de absorção d'água aos 7, 28, 60 e 90 dias de cura. Observou-se que as argamassas com a adição de C.C.A e as vibradas apresentaram condições de mobilidade compatíveis com relação à cada caso e ausência de segregação; as argamassas com C.C.A apresentaram valores de resistência mecânica ligeiramente superiores aos apresentados pelas argamassas vibradas, assim como apresentaram valores de absorção inferiores, não obstante os valores mais elevados para a relação “água/cimento” em comparação aos casos das argamassas vibradas.

Palavras-chave: Argamassa auto adensável; cinzas de casca de arroz; propriedades mecânicas; absorção

ABSTRACT

The study presents an experiment on the use of rice husk ash (R.H.A) for the production of self-compacting mortars. For this purpose, CPZ II 32 cement, natural sand, industrialized rice hull ash, electrostatic and steric performance superplasticizer, and water were used. Two types of mortars were produced, one series to be densified with the aid of vibration, and another series with the incorporation of R.H.A in the 35% content in relation to the mass value of the cement, and of superplasticizer, to be made strong by the action of its own weight. The values of water/cement ratio were 0.4, 0.5 and 0.6 for cases of vibrated mortars and 0.68, 0.63 and 0.55 for cases of self-compacting mortars. For the vibrated mortars were performed in the fresh state the consistency tests with aid of the table of blows, slump tests, and the evaluation of the apparent specific mass. For the self-compacting mortars, the slump flow tests were carried out in the fresh state and the flow test confined with the aid of the funnel; besides the evaluation of the apparent specific mass. In the hardened state the tests of com-

pressive strength and diametrical compressive strength, and of water absorption were realized at 7, 28, 60 and 90 days of cure. It was observed that the mortars with the addition of R.H.A and the vibrated ones presented mobility conditions compatible with respect to each case and absence of segregation; The mortars with R.H.A presented mechanical strength values slightly higher than those presented by vibrated mortars, as well as lower absorption values, despite the higher values for the "water / cement" ratio compared to the cases of vibrated mortar.

Keywords: Self-compacting mortars; rice husk ash; mechanical properties; absorption

1. INTRODUÇÃO

As argamassas são compostas de modo geral a partir de um ou mais tipos de aglomerante, água e agregado miúdo, podendo conter ainda algum tipo de adição mineral ou de aditivo. Em acordo com CARASEK [1], as argamassas podem exercer funções diversas em obras correntes, recebendo um destaque para as aplicações conforme os elementos construtivos aos quais elas estão incorporadas, como nos casos das alvenarias, cumprindo o papel de ligante em argamassas de assentamento, ou de proteção nos casos de argamassas de revestimento. Cita-se ainda os casos de argamassas estruturais, com a finalidade de reparos ou de reforços de estruturas. Convém ressaltar que as argamassas podem ser compreendidas como uma das fases dos concretos, distinguindo-se esta da fase dos agregados graúdos; possuem responsabilidades quando na fase do concreto fresco, influenciando nas condições de reologia, e no caso do concreto endurecido, tendo contrapartida na resistência mecânica.

As argamassas podem ser submetidas a diferentes processos tecnológicos, requerendo-se destas diferentes qualificações em termos de suas propriedades reológicas, buscando-se compatibilidade entre suas condições de plasticidade e mobilidade, requisito de desempenho são associados às argamassas conforme a sua finalidade e contexto de aplicação.

No caso de argamassas de reparos, CARASEK [1] aponta como requisitos a trabalhabilidade, a aderência ao concreto e armaduras originais, baixa retração, baixa permeabilidade e absorção de água. No caso de a argamassa ser compreendida como uma das fases do concreto, cabe salientar que nesta são contidos os elementos finos e os aglomerantes, os quais são por natureza formadores de pasta e agentes de viscosidade, influenciadas pela quantidade de água e pela presença de aditivos. Quando no estado endurecido estas respondem parcialmente pela absorção dos esforços mecânicos.

De modo genérico, algumas propriedades reológicas são distinguidas para as argamassas no estado fresco, como a consistência, representada pela capacidade da mistura resistir ao escoamento, conforme define CARASEK [1], ou, como a energia que é absorvida na deformação; um valor crítico para o ponto de partida da deformação ou mobilidade de uma argamassa pode ser definido como a tensão de escoamento. Estudos têm sido realizados procurando associar valores alcançados em ensaios para as avaliações de trabalhabilidade com os valores da tensão de escoamento conforme os ensaios de reometria, apresentados em estudos de OLIVEIRA et al [2], que cuida de um estudo reológico da fase argamassa de concreto auto adensável.

Por plasticidade se pode associar, conforme CARASEK [1], a viscosidade do material, de modo a ser explorada na aplicação em obra, ou, "a propriedade pela qual a argamassa tende de conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação". Ainda, são ressaltadas como propriedades relevantes a retenção de água, coesão interna, ausência de segregação e adesividade.

Os finos têm recebido grande importância, tanto no campo dos concretos de nova geração como em argamassas. Eles podem ter grande eficácia sobre os fatores relativos à reologia dos materiais no estado fresco, assim como para se conferir alguns benefícios ao material quando na fase do estado endurecido. Para tanto, são relevantes as suas características físicas, como o grau de finura, a superfície específica, e a forma das partículas. Além destes fatores, não se deve ignorar a influência da atividade físico-química a eles associadas, sendo esta variável conforme a natureza e a exposição das cargas elétricas das partículas. Com relação ao estado endurecido, o diâmetro máximo das partículas comparativamente ao dos demais constituintes interferem no esqueleto granular, de modo a se promover o efeito fíler, com a obturação dos poros e a densificação do material; quando existe reatividade química com outros constituintes, permite a formação de compostos cimentantes.

Tendo procedências diversas, o atendimento para com os índices de validação no estado fresco pode sofrer a influência de fatores diversos, de modo a se respeitar tolerâncias com relação ao fator fíler/cimento. ALCANTARA e LIMA [3] apresentam para o caso das cinzas de casca de arroz esta relação dentro da ordem de 0,35. A cinza de casca de arroz tem sido apresentada como um material dotado de atividade pozolânica. De acordo com SILVA [4], esta possui um elevado teor de sílica, entre 74% e 97%; sua morfologia está relacionada ao tipo da queima adotada. A temperatura e o controle durante a queima da casca de arroz podem determinar o aparecimento da sílica no estado amorfo, mais reativa, ou cristalina, com menor reatividade. RÊGO [5] apresenta um estudo pelo qual, da queima da cinza de casca de arroz, mesmo sem controle de temperatura, obteve-se material com um diâmetro médio de 15,19 micras, conferindo um índice de pozolanicidade de 85%.

Os benefícios do uso de cinzas de casca de arroz têm sido verificados quando na produção de concreto de elevado desempenho, com resultados promissores, como atestam os trabalhos de BARBOSA [6], e SILVA [4], onde valores de resistência mecânica alcançado tem sido da ordem de até 60 MPa.

Mediante a eficácia apresentada pelas cinzas de casca de arroz na boa formação e qualificação de pastas cimentícias, considerou-se importante um estudo sobre a evolução das propriedades produzidas com a utilização de cinzas de casca de arroz como adições ativas, em argamassas adensadas pelo processo auto adensável, em comparação com argamassas produzidas sem o uso destas adições ativas, e adensadas pelo processo clássico de vibração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo utilizou-se de cimento do tipo CP II Z 32, normalizado conforme a NBR 11578 [7]. Justificou-se a escolha pelo tipo de cimento em decorrência deste ser o de maior difusão no mercado. Quanto aos agregados miúdos decidiu-se optar por areia natural de origem sedimentar, e como tipo de fino utilizou-se da cinza de casca de arroz do tipo produzida industrialmente; e ainda, utilizou-se de aditivo superplastificante com atuação estérica e eletrostática para a fluidificação das argamassas auto adensáveis.

A Tabela 1 apresenta a caracterização do agregado miúdo utilizado, realizada de acordo com a NBR 7217 [8], NBR 7218 [9], NBR 9776 [10], NBRNM 45 [11], NBRNM 52 [12].

Tabela 1: Agregados miúdos utilizados no experimento.

AGREGADO MIÚDO					
Ø máximo (mm)	Módulo de finura	ρ (g/cm ³)	ρ absoluta (g/cm ³)	Absorção d'água (%)	Material pulv. (%)
2,36	2,03	2,590	2,646	0,34	0,48

A Tabela 2 apresenta a sua caracterização das cinzas de casca de arroz utilizada, de acordo com informações fornecidas pelo fornecedor.

Tabela 2: Caracterização das cinzas de casca de arroz, fornecida conforme o fabricante [13].

COMPOSIÇÃO QUÍMICA				CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
SiO ₂ amorfa	SiO ₂ cristalina	N ₂ O	C total	Diâmetro médio (µm)	Resíduo na peneira 45 µm (%)	Massa específica aparente (kg/m ³)	Superfície específica (m ² /kg)
>90	<2	<1,5	<6	8,0	<10	550-600	20.000

Neste estudo foram produzidos dois tipos de argamassas, uma série de argamassas vibradas, e uma série de argamassas do tipo auto adensável, com a incorporação de C.C.A no teor de 35% com relação ao valor da massa do cimento. Os valores da relação água/cimento adotados para a série de argamassas vibradas foram 0,40, 0,50, e 0,60 enquanto que para os casos de argamassas auto adensáveis os valores eram dados por 0,55, 0,63 e 0,68. Estes são justificados pelos limites de tolerância para os respectivos tipos de argamassa, conforme verificados através de estudos exploratórios, de modo a se permitir as condições mínimas de manuseio, e de se poder evitar a segregação e a exsudação. Cumpre informar que objetivou no trabalho comparar argamassas enquanto estas são compreendidas como fases argamassa de concretos vibrados e auto adensáveis, tendo como ponto de partida o trabalho de MENDES [14]. Buscou-se então comparar o comportamento genérico para cada tipo de argamassa.

A Tabela 3 apresenta as composições adotadas para os casos de argamassas vibradas e auto adensáveis; a Tabela 4, os parâmetros relevantes de composição para ambos os tipos de séries.

Tabela 3: Composições em kg/m³ para as argamassas vibradas e argamassas auto adensáveis.

COMPOSIÇÕES DAS ARGAMASSAS						
COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
TRAÇO	1:1,35	1:1,80	1:2,25	1:0,35:1,66	1:0,35:2,05	1:0,35:2,36
Cimento (kg)	808,29	663,37	562,44	598,85	527,42	485,80
Agregado miúdo (kg)	1090,84	1194,90	1265,99	992,78	1082,54	1147,16
CCA (kg)	-	-	-	210,49	185,04	169,58
Água (kg)	323,31	331,69	337,86	328,27	331,49	329,18
Superplastificante (kg)	-	-	-	5,07	2,97	1,90

Tabela 4: Parâmetros de dosagem para as argamassas vibradas e argamassas auto adensáveis.

PARÂMETROS DE DOSAGEM PARA AS ARGAMASSAS						
COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Água/(cimento+cinzas)	-	-	-	0,41	0,47	0,50
CCA/cimento	-	-	-	0,35	0,35	0,35
Água/materiais secos	17,02	17,85	18,48	18,27	18,47	18,22
Agregado miúdo/argamassa	0,49	0,55	0,58	0,47	0,51	0,54
Superplastificante/cimento	-	-	-	0,85	0,56	0,39

No estado fresco foram realizados os ensaios com fins de avaliação de comportamento dos dois tipos de argamassa.

Os ensaios de consistência foram efetuados para os casos de argamassas vibradas, recorrendo-se à mesa de golpes, e realizados conforme as prescrições da NBR13276 [15]. O ensaio teve como objetivos verificar a variação das condições consistência da argamassa, com base na variação do diâmetro de espalhamento, assim como, as condições de coesão interna, de mobilidade e dos possíveis indicativos de segregação. Realizou-se ainda para os casos de argamassas vibradas o ensaio de abatimento, seguindo-se a NBR NM 67 [16], com objetivos de verificar as variações das condições de consistência e de plasticidade do material, com base no valor do valor de abatimento.

As Figuras 1a e 1b, ilustram os respectivos ensaios.



(a)



(b)

Figura 1: Ensaios de espalhamento concreto vibrado a partir de mesa de golpes (a) e ensaio de abatimento adaptado (b).

Para os casos de argamassas auto adensáveis foram realizados os ensaios de espalhamento “Slump-Flow”, buscando se reproduzir o que é executado conforme a NBR15823 [17], para os casos de concretos auto adensáveis; e realizou-se ainda o ensaio de escoamento confinado, com o auxílio de um funil. O ensaio de espalhamento teve por objetivos avaliar as condições de consistência e da mobilidade em escoamento livre, o qual é sujeito às influências das condições de viscosidade da mistura, das condições de inércia dos materiais, e da competitividade no deslocamento. O ensaio também teve por fim elucidar o caráter auto adensável das argamassas, desde que permitisse a formação de uma superfície plana, circular, homogênea, e destituída de halos d’água em torno desta. Já o ensaio do funil tinha por objetivos verificar o caráter do escoamento confinado, quanto a não ocorrência de bloqueios, decorrentes normalmente das ocorrências de choques intergranulares, e da variação da viscosidade.

Tanto para o ensaio de abatimento como para o ensaio de espalhamento “Slump-flow” utilizou-se de um tronco de cone metálico. Este cone possuía dimensões dadas por 100 mm para a abertura maior, 50 mm para a abertura menor, e 150 mm de altura, sendo as mesmas dimensões do que é utilizado para os ensaios de “argamassa equivalente”, descritos em SCHWARTZENTRUBER e CATHERINE [18].

Como procedimento para o ensaio de espalhamento utilizou-se de uma placa metálica de 100 x 100 centímetros, além do cone. O procedimento executado constava de: preenchimento do interior do cone pela argamassa; regularização de superfície e limpeza do entorno; soerguimento do cone com posterior escoamento da argamassa em regime de escoamento livre sobre a placa. Está ilustrado na Figura 2a um dos casos de superfície de espalhamento resultantes. Como medida do espalhamento, adotou-se o valor médio entre os dois diâmetros finais perpendiculares. Os aspectos de homogeneidade foram tomados em conta de modo visual, com base em aspectos qualitativos, observando-se o modo circular da superfície, assim como, as possíveis presenças de franjas ou de vestígios de exsudação no contorno do círculo.

Para a realização do ensaio do funil seguiu-se como o apresentado em BERTÉ e ALCANTARA [19]. Utilizou-se de um funil fabricado a partir de garrafa Pet, como ilustra a Figura 2b. Como critério de averiguar a fluidez das misturas, analisou-se o fluxo de queda do material através da velocidade expressa por massa/tempo dada em “g/s”. O ensaio consistiu em preencher o funil com 1000 g da mistura, e em seguida registrar o tempo de escoamento, de modo similar ao Ensaio de Determinação de Fluidez das pastas de cimentos prescritos pela NBR 7681 [20] e NBR 7682 [21].

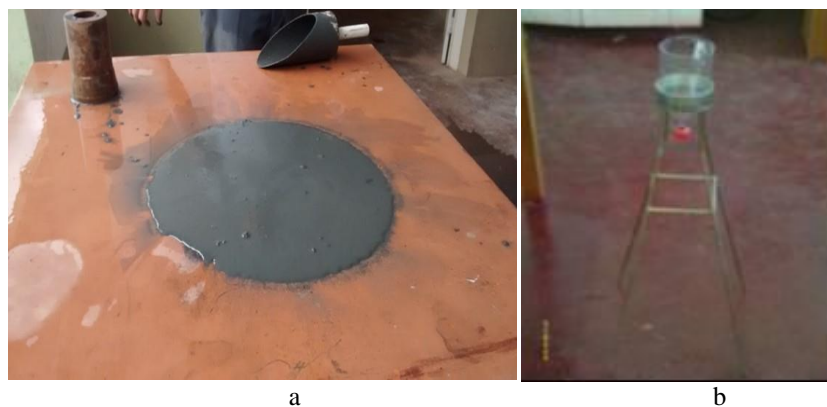


Figura 2: Ensaios de espalhamento (a) e funil adaptado utilizado em ensaios de escoamento confinado (b).

Para os dois casos de argamassa também foi realizada a avaliação da massa específica aparente, com base nos valores da massa e do volume medido em um molde específico de 0,75l.

Para cada tipo de composição os corpos de prova foram produzidos todos de uma mesma amassada, de modo a poder haver condições de comparação dos resultados.

Para os casos de argamassas vibradas foi adotado os seguintes procedimentos:

- Lançamento do cimento, e de agregados miúdos, quando então era efetuada a mistura por 1 minuto;
- a seguir se efetuava a adição da água, e a mistura por 1 minuto;

Os corpos de prova eram moldados vertendo-se a mistura nos moldes de P.V.C cilíndricos com dimensões dadas por 5x 10 cm, sendo o adensamento realizado pelo uso de vibração com o auxílio de mesa vibratória.

Então, eram realizados os ensaios no estado fresco.

Para os casos de argamassas auto adensáveis foi adotado os seguintes procedimentos:

- Lançamento do cimento, cinzas, e agregados miúdos, e era efetuada a mistura por 1 minuto;
- adição da água, e era efetuada a mistura por 1 minuto;
- adição do superplastificante, e era efetuada a mistura por 1 minuto.

A seguir eram realizados os ensaios no estado fresco.

Os corpos de prova eram moldados vertendo-se a mistura nos moldes de P.V.C cilíndricos com dimensões dadas por 5x 10 cm, sem o uso de vibração, sendo o adensamento realizado pelo preso próprio do material.

A desforma se dava 24 horas após a mistura e a preparação dos corpos de prova, quando então eles eram resguardados em câmara úmida à temperatura média de 22° C e grau higrotérmico de 100%.

Foram realizadas as avaliações das resistências a compressão simples e diametral, e da absorção d'água, para as idades de cura dadas por 7, 28, 60 e 90 dias, atendendo-se para as avaliações os procedimentos da NBR 7215 [22], respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das avaliações no estado frescos para os casos de argamassas vibradas são apresentados na Tabela 5, enquanto que a Tabela 6 apresenta os resultados para os casos de argamassas auto adensáveis.

Tabela 5: Resultados do estado fresco para os casos de argamassas vibradas.

COMPOSIÇÃO	V1		V2		V3	
Espalhamento de argamassa (cm)	29	29	35	33	43	42
	29,0		34,5		42,5	
Abatimento (cm)	8,5		11,5		13,0	
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,187		2,200		2,213	

Tabela 6: Resultados do estado fresco para os casos de argamassas auto adensáveis.

COMPOSIÇÃO	CAA1		CAA2		CAA3	
Espalhamento de argamassa (cm)	45	46	39	41	35	36
	45,5		40,0		35,5	
Vazão mássica em ensaio do funil (g/s)	3034,48		3597,94		2256,41	
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,107		2,070		2,107	

Analisa-se que os fatores de composição contribuíram para se estabelecer as condições de fluidez observadas, conforme as Tabelas 5 e 6.

Para as argamassas vibradas, estas são fluidificas pela influência da quantidade de água incorporada, sobretudo, pela variação da relação água/cimento, e de um gradativo aumento das relações água/materiais secos. Os valores dos diâmetros de espalhamento das argamassas se mostram coerentes com os do abatimento, relativos à consistência e à coesão interna destas quando no incremento da água incorporada. Estas duas qualidades são influenciadas pela presença do cimento e da relação deste com a água na formação de pasta.

Para as argamassas auto adensáveis, os resultados da Tabela 6 sugerem que estas foram fluidificadas preferencialmente pela influência do aumento do teor do superplastificante. Apesar da composição CAA3 apresentar valor maior para a relação água/cimento, a composição CAA1, que apresenta menor valor para a relação água/cimento, apresenta o valor mais elevado da relação superplastificante/cimento, requerido para compensar o efeito de coesão proporcionado pela diminuição do valor da relação água/cimento, assim como, da relação água/"cimento+cinzas". Com relação ao ensaio do funil observa-se que os valores deste tendem a se apresentar

coerentes aos do diâmetro de espalhamento, favorecidos pelas melhores condições de fluidez e mobilidade indicadas pelo ensaio de espalhamento; contudo, distingue-se o caso da composição CAA2 onde se observa uma divergência de resultado com um valor superestimado da vazão mássica em comparação com os apresentados pela composição CAA1 e CAA3. Justifica-se isto possivelmente em decorrência de o valor da relação água/materiais secos ser maior para esta composição, tendo o incremento de água atuado em sinergia com o superplastificante.

As argamassas vibradas se apresentaram como o caráter mais plástico enquanto que as argamassas auto adensáveis se apresentaram com o caráter fluido, sendo então estas coerentes com os processos tecnológicos de adensamento vibrado e de adensamento auto adensável respectivamente. Permitiu-se através destas realizar de modo eficaz os respectivos processos de adensamento e fabricação dos corpos de prova.

As Tabelas 7 a 10 apresentam os valores médios, acompanhados do desvio padrão e do coeficiente de variação, referentes aos valores das resistências à compressão simples para os casos de argamassas vibradas e de argamassas auto adensáveis, para os tempos de cura de 7, 28, 60, e 90 dias de cura.

Tabela 7: Resistência à compressão axial para 7 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	25,58	19,50	18,66	29,50	23,85	22,64
Desvio padrão	3,09	1,29	1,85	2,59	1,31	0,60
cv (%)	12,079	6,590	9,930	8,770	5,500	2,670

Tabela 8: Resistência à compressão axial para 28 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	29,750	28,050	23,930	34,385	31,000	28,290
Desvio padrão	2,59	0,54	0,24	1,32	2,26	4,13
cv (%)	8,69	1,91	1,00	3,82	7,27	14,60

Tabela 9: Resistência à compressão axial para 60 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	29,70	27,05	24,66	34,55	32,29	29,08
Desvio padrão	0,11	1,52	4,06	3,11	3,66	1,50
cv (%)	0,36	5,60	16,48	9,00	11,34	5,16

Tabela 10: Resistência à compressão axial para 90 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	30,65	27,46	25,68	34,11	33,09	31,33
Desvio padrão	2,28	4,63	1,98	0,14	0,65	3,37
cv (%)	7,44	16,87	7,73	0,40	1,96	10,77

As Tabelas 11 a 14 apresentam os valores médios, acompanhados do desvio padrão e do coeficiente de variação, referentes aos valores das resistências à compressão diametral para os casos de argamassas vibradas e de argamassas auto adensáveis, para os tempos de cura de 7, 28, 60, e 90 dias de cura.

Tabela 11: Resistência à tração por compressão diametral para 7 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	3,44	2,47	2,74	3,11	2,67	2,45
Desvio padrão	0,15	0,39	0,10	0,25	0,37	0,30
cv (%)	4,27	15,92	3,54	8,06	13,82	12,06

Tabela 12: Resistência à tração por compressão diametral para 28 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	3,66	3,32	2,72	3,18	3,29	3,11
Desvio padrão	0,56	0,25	0,04	0,07	0,48	0,03
cv (%)	15,39	7,41	1,30	2,34	14,56	0,85

Tabela 13: Resistência à tração por compressão diametral para 60 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	4,09	3,13	3,01	3,47	3,49	3,48
Desvio padrão	1,56	0,44	0,19	0,21	0,27	0,53
cv (%)	38,12	14,14	6,35	6,02	7,75	15,18

Tabela 14: Resistência à tração por compressão diametral para 90 dias de cura, para as argamassas.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (MPa)	3,62	3,58	3,40	4,33	4,32	4,13
Desvio padrão	0,92	0,07	0,16	0,48	0,50	0,30
cv (%)	25,43	2,08	4,69	11,02	11,63	7,19

Observa-se através das Tabelas 11 a 14 que os valores alcançados para a resistência à compressão diametral se mostram coerentes com os alcançados para a resistência à compressão simples, em coerência com o grau de cimentação dos materiais.

As Figuras 3 e 4 ilustram a variação da resistência à compressão simples com relação ao tempo de cura, e com a relação água/cimento, para os casos de argamassas vibradas e para os casos de argamassas auto adensáveis, respectivamente.

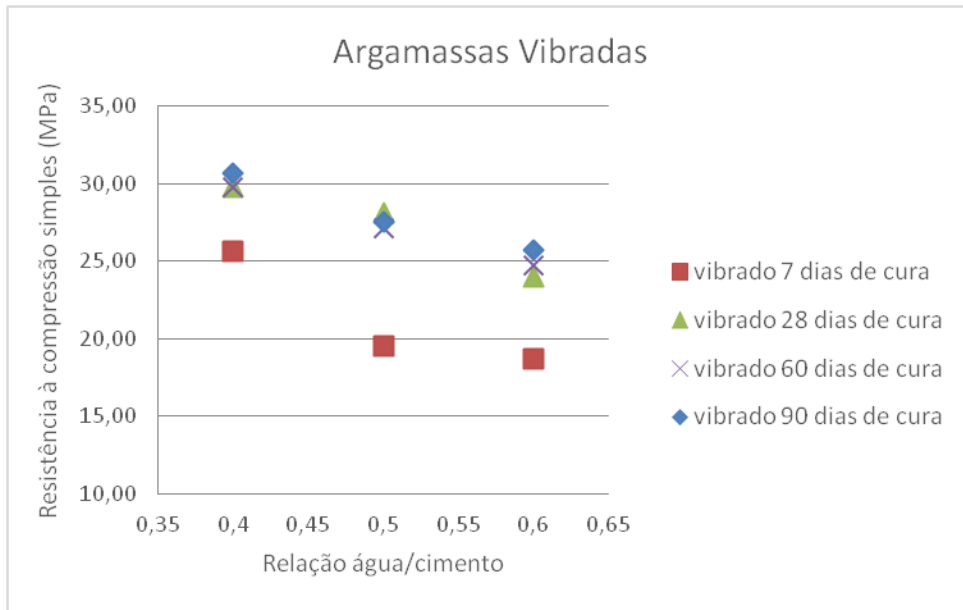


Figura 3: Variação da resistência à compressão simples com a variação da relação do tempo de cura, caso de argamassas vibradas.

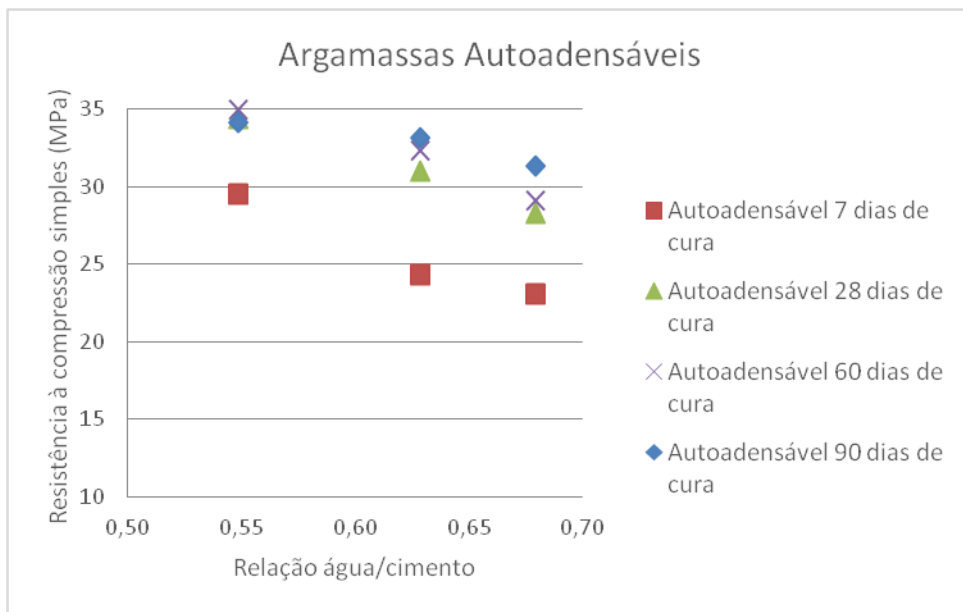


Figura 4: Variação da resistência à compressão simples com a variação da relação do tempo de cura e da relação água/cimento, caso de argamassas auto adensáveis.

A Tabela 15 apresenta os valores alcançados nos ensaios de resistência à compressão simples pelos valores da massa específica aparente alcançada no adensamento da moldagem no estado fresco.

Tabela 15: Relação entre valores da resistência à compressão simples e a massa específica aparente para os casos de argamassas vibradas e auto adensáveis

COMPOSIÇÕES			V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Massa específica aparente (g/cm ³)			2,187	2,200	2,213	2,107	2,070	2,107
Resistência à compressão simples (MPa)/ Massa específica aparente (g/cm ³)	Dias de cura	7	11,8	8,9	8,4	14,0	11,5	10,7
		28	13,6	12,8	10,8	16,3	15,0	13,4
		60	13,6	12,5	11,1	16,4	15,6	14,1
		90	14,0	12,5	11,6	16,2	16,0	14,9

Se por um lado os valores alcançados na massa específica aparente alcançada na moldagem podem contribuir para o aumento da compactidade e incremento do valor da resistência mecânica dos concretos, depara-se com os valores apresentados na Tabela 15 onde as argamassas auto adensáveis mesmo apresentando valores inferiores quanto à massa específica aparente do que as argamassas vibradas, os resultados são superiores quanto à relação resistência mecânica / massa específica aparente do que para os casos das argamassas vibradas, dando um indicativo de que o ganho superior de resistência se deu por outros fatores além da densificação.

Os valores de resistência à compressão simples para os casos das argamassas auto adensáveis se distribuem de modo geral em níveis mais elevados do que são os das argamassas vibradas, conforme apresentam as Tabelas 7 a 10 e ilustram as Figuras 3 e 4, não obstante os valores maiores das relações água/cimento que são adotadas para estas composições. Buscou-se estabelecer um parâmetro que pudesse associar os valores da resistência mecânica alcançados aos valores da relação água/cimento. Com base no conhecimento de que a variação da resistência mecânica ocorre no sentido inverso ao da relação água/cimento, pode-se inferir que aos maiores valores de resistência mecânica alcançados a divisão destes valores pelos respectivos valores da relação água/cimento ou água/ligantes total, multiplicados por 10, se tornariam mais elevados, visto que os valores da relação água/cimento seriam mais elevados ou água/ligantes se tornariam menores. Do fato que o teor de cinzas incorporado nas argamassas auto adensáveis é constante para todos os tipos de composição, procurou-se realizar a análise considerando os casos sob os pontos de vista da relação água/cimento e da relação água/ligantes, compreendendo-se os ligantes como “cimento+cinzas”. As Tabelas 16 e 17 apresentam para as respectivas relações para os casos das composições de argamassas vibradas e auto adensáveis.

Tabela 16: Relação entre os valores da “resistência à compressão simples pelos valores da relação água/cimentox10” para os casos de argamassas vibradas e auto adensáveis

COMPOSIÇÕES			V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento			0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Resistência à compressão simples (MPa)/(a/c)*10	Dias de cura	7	6,5	3,9	3,1	5,4	3,8	3,3
		28	7,4	5,6	4,0	6,4	4,9	4,2
		60	7,4	5,5	4,1	5,4	5,1	4,4
		90	7,7	5,5	4,3	6,2	5,3	4,6

Tabela 17: Relação entre os valores da “resistência à compressão simples pelos valores da relação água/ligantesx10” para os casos de argamassas vibradas e auto adensáveis

COMPOSIÇÕES			V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/ligantes			0,40	0,50	0,60	4,1	4,7	5,0
Resistência à compressão simples (MPa)/(água/ligantes)*10	Dias de cura	7	6,5	3,9	3,1	7,3	5,1	4,5
		28	7,4	5,6	4,0	8,5	6,7	5,6
		60	7,4	5,5	4,1	8,5	6,9	5,9
		90	7,7	5,5	4,3	8,4	7,1	6,2

Nota-se dos valores das Tabelas 16 e 17 que, quando se analisa para os dois casos com base nos valores da relação água/cimento os valores são mais elevados para os casos das argamassas vibradas em especial quan-

do se considera os casos das composições V1 e CAA1, mais ricas em cimento, enquanto que para os demais casos o valor da relação se torna mais elevado para os casos das argamassas auto adensáveis. Os valores superestimados da relação “resistência à compressão simples/relação água/cimento*10” para os casos das argamassas auto adensáveis sugerem que estas pertencem à uma outra família de misturas cimentícias, visto que os valores da relação água/cimento são de modo geral mais elevados para estas composições para que os valores de resistência mecânica sejam mais elevados do que os apresentados para as argamassas vibradas. Ao se adotar os valores da relação água/ligantes totais, para o caso das argamassas auto adensáveis, os valores da relação “resistência à compressão simples/(água/ligantes*10)” se tornam mais elevados para as composições das argamassas auto adensáveis para todos os casos. Compreende-se destes valores que no caso das argamassas auto adensáveis o cimento aparentemente pode ter a contrapartida de outros materiais, de modo a favorecer o ganho de resistência mecânica. Considerando que as cinzas em si mesmas não tem poder aglomerante, pode-se inferir que estas tenham contribuído para os maiores ganhos de resistência mecânica por meio das reações pozolânicas entre estas e a cal hidratada liberada durante a hidratação do Portland, em consonância com os trabalhos de SILVA [4] e REGO[5], como também através do efeito fíler.

A evolução dos valores da resistência mecânica além dos 28 dias de cura se apresenta distinta para os casos das argamassas vibradas, em comparação com os das argamassas auto adensáveis. Para os casos das composições V3 e CAA3, os ganhos de resistência aos 90 dias de cura, comparados aos 28 dias de cura, são dados em torno de 7,31 e 10,75% respectivamente para estas misturas. As composições com valores menores da relação água/cimento tendem a apresentar os valores máximos de resistência aos 28 dias de cura, tanto para os casos das argamassas vibradas como para os casos das argamassas auto adensáveis.

Com base nos valores do consumo de materiais para as composições apresentadas na Tabela 3, se verifica que o consumo de cimento por metro cúbico de argamassa é inferior, em torno de 25,90; 20,49 e 13,56 %, respectivamente, quando se considera os casos das argamassas V1, V2, V3, e de CAA1, CAA2 e CAA3. Compreende-se desta forma um indicativo de que a incorporação de cinzas de casca de arroz às argamassas pode permitir a redução do consumo de cimento, o qual pode ser substituído parcialmente por estas.

A variação da absorção d'água com relação à variação da relação água/cimento, para os casos de argamassas vibradas e auto adensáveis, são apresentadas nas Tabelas 18 a 21 e as Figuras 5 e 6.

Tabela 18: Absorção d'água para a idade de 7 dias de cura.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (%)	5,39	6,83	7,28	3,65	3,83	5,37
Desvio padrão	0,11	0,28	0,18	0,05	0,10	0,48
cv (%)	2,00	4,09	2,52	1,29	2,56	8,88

Tabela 19: Absorção d'água para a idade de 28 dias de cura.

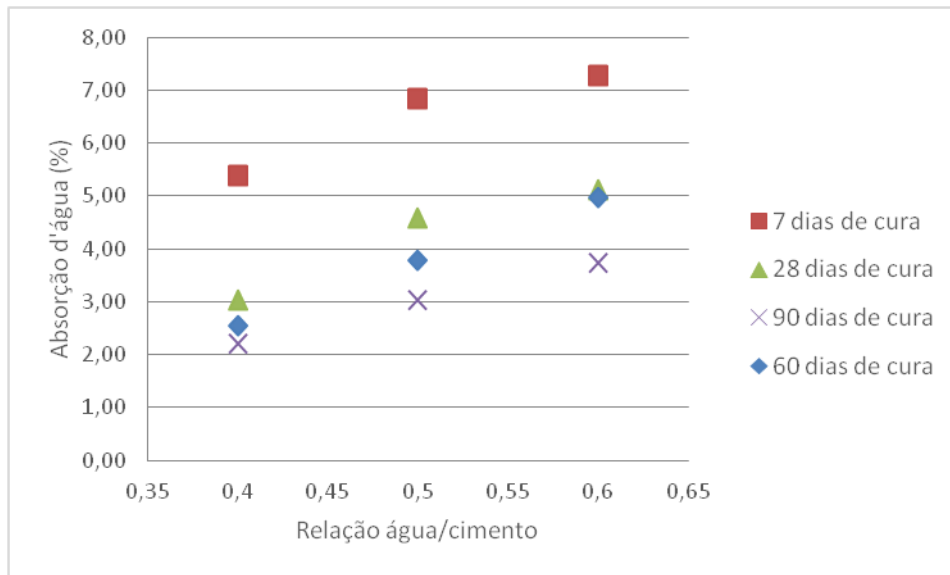
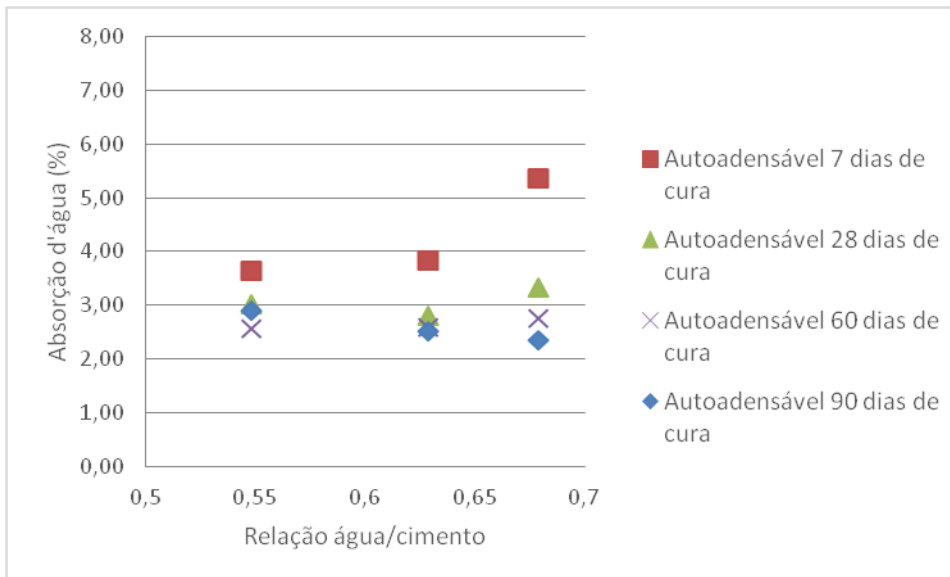
COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (%)	3,03	4,59	5,11	3,33	2,81	3,03
Desvio padrão	0,67	0,51	0,20	0,19	0,27	0,09
cv (%)	21,98	11,03	3,98	5,62	9,71	2,89

Tabela 20: Absorção d'água para a idade de 60 dias de cura.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (%)	2,21	3,02	3,73	2,56	2,59	2,77
Desvio padrão	0,11	0,03	0,07	0,20	0,33	0,40
cv (%)	5,09	1,02	1,75	7,71	12,58	14,52

Tabela 21: Absorção d'água para a idade de 90 dias de cura.

COMPOSIÇÕES	V1	V2	V3	CAA1	CAA2	CAA3
Água/cimento	0,40	0,50	0,60	0,55	0,63	0,68
Valor médio (%)	2,54	3,77	4,97	2,90	2,53	2,36
Desvio padrão	0,10	0,22	0,13	0,19	0,22	1,03
cv (%)	3,75	5,74	2,54	6,67	8,61	43,49


Figura 5: Variação da absorção em função da relação água/cimento para os casos de argamassas vibradas.

Figura 6: Variação da absorção em função relação água/cimento para os casos de argamassas auto adensáveis.

De modo similar ao caso da resistência mecânica, verifica-se através das Tabelas 18 a 21 e das Figuras 5 e 6 que as argamassas auto adensáveis foram favorecidas com a incorporação de cinzas de arroz no comportamento com relação a absorção d'água, no sentido que estas tendem a apresentar níveis menores para este tipo de argamassa não obstante os valores maiores adotados para a relação água/cimento. No que se refere à variação da relação água/cimento e do tempo, observa-se através das Figuras 5 e 6 que para os casos de argamassas vibradas

os valores da absorção d'água tendem se comportar de modo crescente conforme o valor da relação água/cimento, independentemente do tempo de cura; já para os casos das argamassas auto adensáveis, nota-se que, embora o valor da absorção d'água se apresenta crescente com relação ao valor da relação água/cimento para as menores idades de cura, esta tende a ser atenuada para as idades maiores apresentando menor dependência da influência da relação água/cimento.

As Figuras 7 e 8 por sua vez procuram ilustrar as variações da resistência à compressão simples com relação aos valores da absorção d'água, para os casos de argamassas vibradas e de argamassas auto adensáveis.

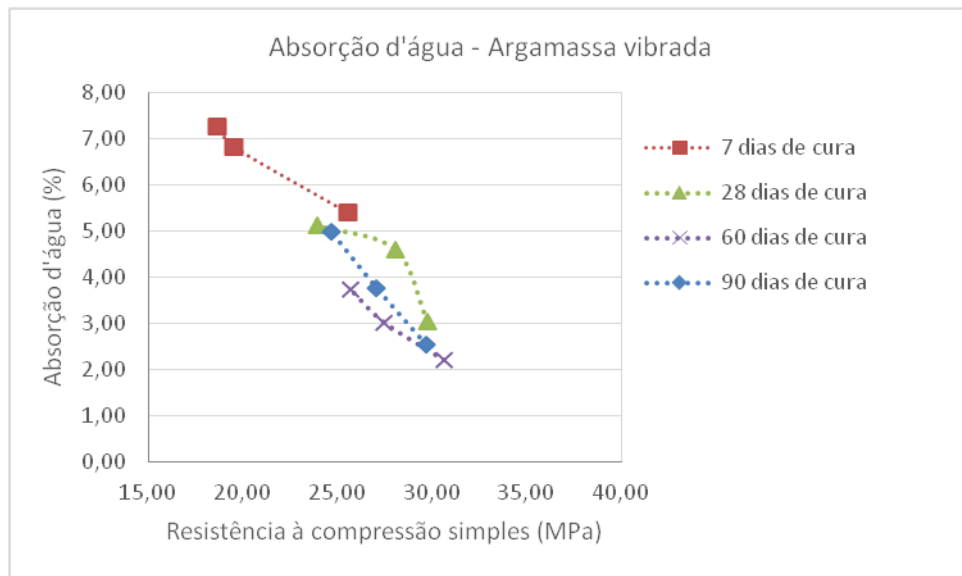


Figura 7: Variações da resistência à compressão simples com relação aos valores da absorção d'água, para os casos de argamassas vibradas.

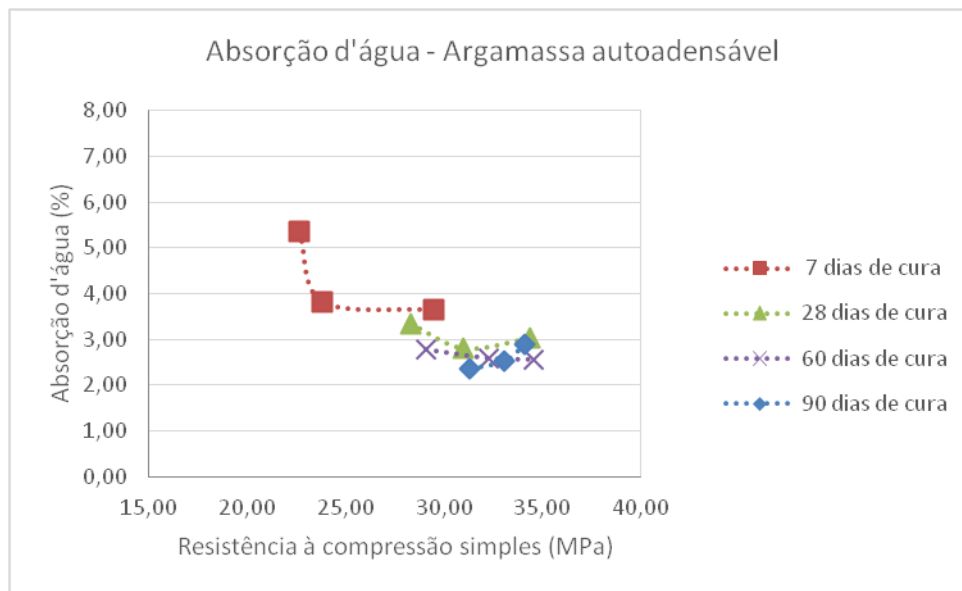


Figura 8: Variações da resistência à compressão simples com relação aos valores da absorção d'água, para os casos de argamassas auto adensáveis.

Nota-se, através da Figura 7, que para o caso das argamassas vibradas os valores da absorção d'água tendem a ter relação aparentemente linear, inversamente ao valor alcançado para a resistência à compressão simples, independentemente do período de cura. Os menores níveis de absorção d'água alcançados se dão para as idades mais avançadas, juntamente com os valores maiores da resistência mecânica. Para o caso das argamassas auto adensáveis a Figura 8 fornece um indicativo de que o valor da absorção pode se apresentar em con-

dições mais favorecidas mesmo para as idades menores de cura, e que, para as idades mais avançadas, esta apresenta menor relação com o valor da resistência mecânica.

Deste modo, verifica-se que as cinzas de casca de arroz podem influenciar na melhoria da microestrutura das argamassas, de modo a se antecipar os menores níveis de absorção já nas idades inferiores, comparativamente aos casos de argamassas vibradas, conforme as proposições adotadas neste estudo. Isto pode favorecer às argamassas estruturais e de reparos, de modo a poder antecipar as condições de serviço requisitadas.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se um indicativo de que as cinzas de casca de arroz podem ser eficazes de modo a atribuir melhor qualificação às pastas das argamassas onde elas foram utilizadas, em especial em proporcionar maior ganho de resistência mecânica e menor nível de absorção d'água.

O uso de cinza de casca de arroz aparentemente pode permitir que se antecipe os níveis mais reduzidos de absorção d'água em argamassas, de modo a favorecer as condições de utilização das estruturas onde elas são utilizadas.

O uso de cinzas de casca de arroz através do que foi observado pode possibilitar a exploração da diminuição do consumo de cimento, substituindo-o parcialmente, sem prejuízos das propriedades no estado endurecido.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FEIS/UNESP pelos meios proporcionados para se realizar a pesquisa, agradecemos também à Silcca Nobre pelo fornecimento das cinzas de casca de arroz utilizadas neste trabalho, e a revista Matéria, pela oportunidade de divulgação deste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] CARASEK, H. Argamassas, Materiais de construção civil e princípios de ciência de materiais, São Paulo, IBRACON, pp.863-904, 2010.
- [2] OLIVEIRA, L.A.P., NEPONUCENO, M.C.S., SILVEIRA, C. Comportamento reológico da fase argamassa de betão autocompactável com agregados finos reciclável. In: IV Congresso Ibero-americano do Betão Autocompactável-BAC 2015, Porto, 2015, Anais FEUP, pp.331-339, 2017.
- [3] ALCANTARA, M.A.M., LIMA, G.G.S., "O uso de cinzas de casca de arroz e do pó de pedra como finos na produção do concreto auto-adensável", In: *Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado*, 2, São Carlos, São Paulo, BRASIL, 03-04 Novembro 2009.
- [4] SILVA, E.J., *Contribuição para utilização de cinzas de casca de arroz na construção civil*, Tese de M.Sc., FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2009.
- [5] REGO, J.H.S., *As cinzas de casca de arroz amorfa e cristalina como adição mineral aos cimentos- aspectos de microestrutura das pastas*, Tese de D.Sc., PECC/UNB, Brasília, DF, Brasil, 2004.
- [6] BARBOSA, M.B., *Utilização de cinzas de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de elevado desempenho*, Tese de M.Sc, FEIS/UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil, 2007.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991), NBR-11578: *Cimento Portland composto – Especificação*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), NBR-7217: *Agregados – determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), NBR-7218: *Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), NBR-9776: *Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de chapman*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006), NBRNM 45: *Agregados – Determinação da Massa Unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003), NBRNM 52: *Agregado miúdo - Determinação da Massa Específica e Massa específica aparente*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [13] SÍLICA VERDE DO ARROZ LTDA (SVA) Silcca Nobre.-Sílica da casca do arroz. 4p, 2013.
- [14] MENDES, C.J. Concreto auto adensável utilizando cinza de casca de arroz: Estudo das propriedades mecânicas. Dissertação de M.Sc., FEIS/UNESP, 95p, 2015.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005). NBR NM 13276 Argamassas para assentamento e revestimento de paredes tetos -preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998), NBR NM 67: *Ensaio de abatimento do concreto*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010), NBR15823: *Concreto Auto adensável- Parte1: Classificação, aceitação e controle no estado fresco*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [18] SCHWARTZENTRUBER, A., CATHERINE, C. “La méthode du mortier de béton equivalent (MBE): un nouveau outil d’aide à la formulation des bétons adjuvantes”, *Materiais and structures/Materiaux Constructions*, v. 33, pg. 475-482, Oct. 2000.
- [19] BERTE, S. D. D., ALCANTARA, M. A. M., “Estudo do comportamento do solo-cimento auto adensável”, *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 7, p. 16-31, Nov. 2013.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983), NBR-7681: *Calda de cimento para injeção - especificação*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983), NBR-7682: *Calda de cimento para injeção - determinação do índice de fluidez*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007), NBR-7215: *Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndrico: procedimento*. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.