

AVALIAÇÃO DE ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE- AÇÚCAR

*EVALUATION OF PLASTERING COMPOSITE MORTAR WITH REPLACEMENT OF NATURAL SAND IN
SUGARCANE BAGASSE ASH*

José Aparecido Canova¹, José Luiz Miotto², Luci Mercedes De Mori³

Professores Doutores no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá. Avenida Colombo, 5.790, Câmpus Universitário, Bloco C-67, CEP: 87020-900, Maringá, PR.

¹E-mail: jacanova@uem.br

²E-mail: jlmiotto@uem.br

³E-mail: Immori@gmail.com

RESUMO

Resíduos da agroindústria sucroalcooleira têm sido avaliados em materiais a base de cimento. Este trabalho estudou os efeitos desses resíduos em argamassa mista de revestimento. Procedeu-se a mistura da cal virgem com água, areia natural e cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) com substituições de 5%, 10%, 15% e 20 %, respectivamente, à areia, a partir do traço 1:6,26 (em volume), as quais foram maturadas para hidratação da cal e depois secas em estufa, adicionou-se o cimento a partir da composição do traço de referência 1:1, 5:9,4 (em volume). Avaliou-se a consistência, massa específica e teor de ar incorporado, retenção e exsudação de água no estado plástico, resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral, módulo de deformação, absorção de água por imersão e por capilaridade no estado endurecido. Em corpos de prova no substrato avaliou-se a fissuração. Os resultados indicaram redução na retenção de água e teor de ar incorporado, com 5% de substituição melhorou a absorção de água por imersão e por capilaridade e a exsudação de água; com até 15% melhoraram as propriedades mecânicas. Assim, pode-se considerar viável até 5% de substituição da areia por CBC para a produção da argamassa mista.

Palavras-chaves: capilaridade, argamassa, resíduo agroindustrial.

ABSTRACT

Waste of agribusiness has been appraised in cement base materials. This work aimed to study the effects in the plastering composite mortar. The procedure was the mixture of quicklime powder with water, natural sand and cane sugar bagasse ash (CSA) with replacement of 5%, 10%, 15% and 20%, respectively, of sand, from in proportion 1:6,26 (by volume), which were ripened for hydration of the lime and then dried in an oven, cement was added from composition in the proportion of the reference 1:1: 5:9.4 (by volume). We evaluated the consistency, specific mass, air content, water retention and exudation in the plastic state, axial compressive strength, the tensile strength by diametrical, static deformation modulus, water absorption by immersion and by capillary in the hardened state. The results indicated reduction in water retention and air content, with 5% replacement by improved water absorption and by capillary and water exudation; up to 15% improved mechanical properties. Thus, can be considered feasible to replace 5% of sand by CSA for the production of composite mortar.

Keywords: capillarity, mortar, agribusiness waste.

1 – INTRODUÇÃO

Os diferentes segmentos industriais geram uma variedade de resíduos, em determinados casos estes vem sendo estudados, os quais quando apropriados passam a fazer parte dos materiais utilizados na indústria da construção civil. Esses resíduos podem ser incorporados à elementos de vedação e revestimento, ao concreto e às argamassas, por motivos econômicos, mas principalmente por motivos ambientais, como é o caso da cinza procedente da queima do bagaço de cana-de-açúcar (CBC).

De todos os segmentos da construção civil, o que mais se desenvolveu e que teve maior abrangência quanto à aplicação dos conceitos de sustentabilidade foi o de materiais e componentes da construção, principalmente os que usam o cimento *Portland* como matriz.

Segundo Freitas (2005), os materiais de construção têm sido avaliados não só de acordo com suas propriedades e seu desempenho; mas também quanto à forma como são produzidos e o impacto que os processos de produção geram ao meio ambiente. O homem vem explorando os recursos naturais de forma incorreta e provocando degradação ambiental. A construção civil é responsável por grande parcela dos impactos causados ao meio ambiente, por consequência do elevado consumo de matérias-primas, consumo excessivo de água e energia, além da gigantesca geração de resíduos.

Segundo Farias *et al.* (2006), o efeito da extração de areia em leitos de rio tem proporcionado consequências degradantes para o ambiente aquático, e muitas vezes tais impactos são irreversíveis. A extração feita de modo inadequado tem como resultado a poluição das águas,

devido à agitação de sedimentos finos, e a presença de combustível e óleos lubrificantes oriundos das instalações de equipamentos utilizados. Quando efetuada de forma incorreta, a extração da areia causa a perda da biodiversidade.

A Resolução n. 001 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de 23 de janeiro de 1986, estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da avaliação de impacto ambiental e considera impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos naturais das margens e matas ciliares (BRASIL, 1986). Já a Resolução do CONAMA n. 237, de 19 de dezembro de 1997, dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental e revoga em especial os artigos 3º e 7º da Resolução n. 001 de 1986 (BRASIL, 1997).

Por causa dos riscos ambientais inerentes à extração de areia natural, várias pesquisas têm sido desenvolvidas acerca da viabilidade da substituição de agregado miúdo natural por resíduos de diferentes origens, como é o caso da CBC utilizada na produção de concretos e argamassas.

Entre as pesquisas encontram-se as de: Ganesan, Rajagopal e Tchanganel (2007), Chusilp, Jaturapitakkul e Kiattikomol (2009), Sales e Lima (2010) e Jiménez-Quero *et al.* (2013).

A cinza produzida a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar, resíduo gerado no processo de produção de álcool, vem ganhando muita importância nesse cenário, pois, com a crise energética mundial, a humanidade vem buscando fontes alternativas de energia renovável. 'O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, maior produtor de açúcar e álcool e maior exportador mundial de açúcar' (DE PAULA, 2006, p. 36). Sendo assim, o álcool, produzido a partir da cana-de-açúcar, torna-se um dos principais produtos para solucionar o problema.

A destinação das CBC é um dos problemas ambientais enfrentados pelos administradores das usinas. A fuligem gerada no processo é recolhida a partir de técnicas de lavagem e decantação e, juntamente com a cinza de caldeiras, constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de sua redução (JENDIROBA 2006, SOUZA *et al.*, 2007).

O bagaço da cana-de-açúcar é calcinado em temperaturas por volta de 1000 °C e tem como resultado cinzas pesadas e cinzas volantes, que, embora não sejam diretamente liberadas no ar como as das colheitas, podem poluir o ambiente quando descartadas de forma imprópria, após a limpeza das caldeiras (DE PAULA, 2006).

Esse resíduo da biomassa da cana-de-açúcar da indústria sucroalcooleira tem despertado interesse devido a sua disponibilidade crescente, visto a expansão da demanda por combustíveis menos poluentes e energias

renováveis como as geradas pela biomassa (BRASIL, 2007). Segundo dados do relatório da FIESP/CIESP (2001), cada tonelada de cana-de-açúcar produzida resulta em aproximadamente 6,2 kg de cinzas residuais.

O resíduo sólido –gerado pelo bagaço durante a extração do caldo pela moagem da cana-de-açúcar para a produção do açúcar e do álcool– apresenta composição química variada, isto em função da espécie de cana-de-açúcar cultivada, dos tipos de herbicidas e de fertilizantes empregados, bem como dos fatores naturais como o clima, solo e água (CORDEIRO, 2006).

As cinzas que não possuem reatividade podem ser utilizadas como material inerte, em substituição aos agregados finos que constituem concretos e argamassas. Além do mais, o elevado custo da areia natural sugere a proposta de sua substituição por outros materiais, como os resíduos, sendo esses de custo bem inferior aos produtos naturais (SALES *et al.*, 2010).

Nunes (2009) realizou a caracterização química e física da CBC e concluiu que ela apresenta uma concentração de aproximadamente 80% de sílica (SiO₂) cristalina na forma de quartzo, a qual tem influência direta nos baixos índices de atividade pozolânica desse material.

Macedo (2009) estudou a viabilidade da utilização da CBC com baixa atividade pozolânica em argamassa resistente, no traço 1:3 de cimento e areia natural em massa com relação água/cimento 0,48, em substituição ao agregado miúdo. Os teores de substituição foram de 3%, 5%, 8% e 10% de CBC, respectivamente. Os resultados obtidos mostraram resistência à compressão superior ao traço de referência, embora a substituição acima de 5% de CBC leva à redução no módulo de elasticidade.

Bessa (2011) utilizou cinza de bagaço de cana-de-açúcar como agregado miúdo em concreto para artefatos de infraestrutura urbana, no estudo com argamassa só com cimento e areia, em substituição de 10%, 20%, 30%, 50% e 100%, respectivamente, à areia e verificou que houve aumento na resistência à compressão axial na maioria das substituições, exceto para a substituição de 100% da areia pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar em relação à argamassa de referência.

Zardo *et al.* (2004) e De Paula (2006) avaliaram o potencial das CBC como adição mineral em compósitos de matriz cimentícia. Porém, em ambos os trabalhos, as cinzas foram submetidas a diferentes tempos de moagem e determinada a sua atividade pozolânica.

Ao realizar o estudo com CBC em substituição ao cimento em argamassa resistente Ganesan, Rajagopal e Tchanganel (2007) verificaram que a CBC é uma mistura mineral eficaz, com até 20% de substituição.

Martins e Machado (2009) observaram que, com substituição de aproximadamente 15% de areia natural por CBC, se alcança o maior acréscimo na resistência à compressão simples do corpo de prova de concreto. Dessa forma, é possível reduzir o consumo de cimento ou como substituto do agregado miúdo natural na produção de concreto, de tal modo que se obtenha a mesma resistência à compressão em corpos de prova produzidos somente com areia como agregado miúdo. Essa substituição, além de

reduzir os custos da produção do concreto, resulta em ganho ambiental.

Sales e Lima (2010) ao realizarem a caracterização química da CBC, teste de difração de raio-X, microscopia eletrônica de varredura, ensaios de solubilização e de lixiviação, bem como de outras propriedades físicas verificaram que a CBC apresenta semelhança com a areia natural.

Um outro resíduo obtido da agroindústria é a cinza da casca de arroz. Rodrigues (2008) utilizou a cinza de casca de arroz residual na produção de argamassa com cimento e areia, em substituição parcial de 5%, 10%, 15% e 20%, respectivamente, ao cimento, e aos 28 dias obteve redução da resistência à compressão axial de, aproximadamente, 10% proporcionalmente à cada um dos quatro teores de substituição em relação a argamassa de referência, chegando a uma redução aproximada de 40% para 20% de substituição.

Conhecer o comportamento da argamassa mista de revestimento com a incorporação de CBC pode ser uma forma de minimizar os impactos gerados ao meio ambiente.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo estudar as propriedades da argamassa mista, após processo de retirada de água em estufa com substituição de 5%, 10%, 15% e 20% da areia natural por CBC, respectivamente.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo foram realizados os ensaios de caracterização físicas dos materiais e da CBC utilizado na argamassa mista de revestimento. Depois da caracterização preparou-se a argamassa e se procedeu aos ensaios das propriedades no estado plástico e no estado endurecido, conforme as especificações das NBR (Normas Brasileira) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

2.1 Materiais

Para compor o traço das argamassas foram utilizados a cal virgem em pó, tipo CV – C (Cal virgem comum), areia natural de leito de rio proveniente do Porto São José (Rio

Paraná), CBC e cimento *Portland* composto com pozolana classe 32 (CP II Z – 32).

A CBC utilizada nesta pesquisa é procedente de usina de álcool e açúcar localizada no Distrito de Iguatemi, no Município de Maringá, PR. A temperatura de queima variou conforme o teor de umidade do bagaço, cerca de 500°C a 700°C para 50% de umidade, e a queima do bagaço nas caldeiras não ocorreu de forma controlada. A cinza possuía coloração cinza escura, que indica um processo de combustão incompleto. A cinza foi utilizada dessa forma sem passar pelo processo de calcinação completa, a qual se denomina cinza pesada. O material apresentou em média 3,55% de matéria orgânica e 1,97% de teor de carbono orgânico. A CBC utilizada na pesquisa foi parte da mesma utilizada por (NAGANO, 2014), da qual foram extraídos estes valores.

Os materiais foram caracterizados de acordo com os seguintes procedimentos:

Massa unitária para o agregado miúdo (areia natural e CBC): As massas unitárias foram determinadas utilizando-se como referência o procedimento descrito pela ABNT NBR NM 45:2006, para os agregados no estado solto. O resultado adotado procedeu da média de três ensaios. Para o cimento, determinou-se também a massa unitária sem a presença do ar.

A massa específica real dos agregados miúdos foi determinada pelo método do picnômetro.

As massas específicas do cimento *Portland* e da cal foram determinadas pelo procedimento descrito pela ABNT NBR-NM 23:1998 por meio do frasco de Le Chatelier.

Para a determinação da finura da cal virgem foram seguidos os procedimentos recomendados pela ABNT NBR 9289:2000. Na determinação da massa específica do cimento e da cal adotou-se o procedimento descrito na ABNT NBR NM 23:1998.

A composição granulométrica dos agregados miúdos (areia natural e CBC) foi determinada de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003, por meio de ensaio manual, utilizando-se a série normal de peneiras.

Na Tabela 1 são expostos os traços, em volume, com transformação em massa para os teores de substituição estudados.

Tabela 1 – Traços unitários em volume e em massa

Argamassa	Traços em volume	Traços em massa				
		Cimento: cal virgem: areia	Cimento: cal virgem: 95% areia: 5% CBC	Cimento: cal virgem: 90% areia: 10% CBC	Cimento: cal virgem: 85% areia: 15% CBC	Cimento: cal virgem: 80% areia: 20% CBC
As ⁰ AN	1:1,5:9,4	1:1:10				
As ⁵ AN	1:5,95:0,44		1:1:9,5:0,5			
As ¹⁰ AN	1:5,63:0,89			1:1:9,0:1,0		
As ¹⁵ AN	1:5,32:1,34				1:1:8,5:1,5	
As ²⁰ AN	1:5,01:1,78					1:1:8,0:2,0

A metodologia do trabalho constituiu-se das etapas a seguir.

2.2 Preparo da argamassa simples

A partir do volume de material preestabelecido para a realização de todos os ensaios propostos para o trabalho e de posse das massas unitárias, determinou-se a massa total

dos materiais a partir do traço que foi adotado: 1:6,26 (em volume) de cal virgem e areia natural. A argamassa simples de cal virgem, areia natural e as com substituição de CBC foram preparadas a partir da mistura dos materiais que foram pesados, obedecendo à proporção estabelecida na conversão do traço de volume para massa (Tabela 1).

As argamassas preparadas foram adicionadas e adensadas em recipientes metálicos, dimensionados e numerados para determinação do volume e massa total, os quais foram tampados para evitar a perda da água por evaporação. Ficaram em repouso por um período de sete dias para maturação e tempo em que se deu a hidratação da cal virgem, segundo especificação dada pela ABNT NBR 7200:1998. A quantidade de água utilizada foi de aproximadamente 2,3 dm³ para cada quilo de cal virgem. As argamassas foram produzidas numa betoneira basculante de eixo inclinado com capacidade de 320 litros. O tempo de mistura foi de aproximadamente 5 minutos para cada argamassa conforme especificação da ABNT NBR 7200:1998.

Realizada a maturação das argamassas, estas foram secas em estufa à temperatura de (105 ± 10) °C por 72 horas, até atingir massa constante. A partir da argamassa seca, após redução da temperatura de (105+10) °C para aproximadamente 60°C, retirou-se os blocos de argamassas formados após a secagem nos recipientes metálicos, desfez-se os grumos manualmente com a utilização do mão de gral em almofariz de ágata, deixando-a no estado solto. Realizou-se o peneiramento da argamassa, utilizando-se da peneira 2,4 mm. Com a argamassa no estado solto e seco a uma temperatura em torno de 40 °C, ela foi acondicionada em embalagens plásticas finas e duplas, para evitar perda do material. O procedimento utilizado foi desenvolvido por Canova (2012). No momento de preparo das argamassas para a realização dos ensaios, acrescentou-se cimento *Portland* às argamassas secas com cal, areia natural e CBC e o traço passou a ter a composição 1:1,5:9,4 (em volume) para a argamassa de referência. As argamassas embaladas foram estocadas em recipiente de madeira fechado e seco e receberam as seguintes denominações:

a) As⁰AN – Argamassa seca em estufa com areia natural, embalada e estocada por 60 dias (esse tempo adotado foi a média do período utilizado por Canova (2002)) – argamassa de referência - sem substituição parcial da areia por CBC.

b) As⁵AN – Argamassa seca em estufa com areia natural, embalada e estocada por 60 dias com substituição de 5% da areia por CBC;

c) As¹⁰AN – Argamassa seca em estufa com areia natural, embalada e estocada por 60 dias com substituição de 10% da areia por CBC;

d) As¹⁵AN – Argamassa seca em estufa com areia natural, embalada e estocada por 60 dias com substituição de 15% da areia por CBC;

e) As²⁰AN – Argamassa seca em estufa com areia natural, embalada e estocada por 60 dias com substituição de 20% da areia por CBC.

2.3 Ensaios realizados

As argamassas foram avaliadas pelas propriedades no estado plástico e no estado endurecido.

a) Ensaios no estado plástico

O índice de consistência foi determinado de acordo com a ABNT NBR 13276:2005, na mesa *flow table*.

As determinações da massa específica e do teor de ar incorporado seguiram o procedimento recomendado pela

ABNT NBR 13278:2005. Por sua vez, a retenção de água e retenção de consistência seguiram o procedimento a ABNT NBR 13277:2005. Por fim, a determinação da exsudação de água baseou-se nos métodos RILEM (RILEM, 1982).

b) Ensaios no estado endurecido

Para o ensaio da argamassa no estado endurecido foram moldados seis corpos de prova (CP) cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, para cada ensaio desenvolvido e ensaiados com idade de 28 dias. Nesse estado foram obtidas as seguintes propriedades:

A resistência à compressão axial foi determinada em conformidade com o procedimento da ABNT NBR 13279:1995.

A resistência por compressão diametral de CP à tração foi obtida conforme ABNT NBR 7222:2011 e Cincotto (1995). Por sua vez, o módulo de deformação estática foi determinado conforme ABNT NBR 8522:1984 (plano de carga tipo I).

Absorção de água por imersão foi determinada em conformidade com a ABNT NBR 9778:2005, enquanto que a absorção de água por capilaridade foi determinada de acordo com o procedimento da ABNT NBR 9779:1995.

c) Ensaios no estado endurecido em corpos de prova sobre substrato

Em CP aplicados sobre substratos foi determinada a fissuração. Para a análise foram considerados a quantidade, o comprimento e a largura das fissuras. O substrato empregado foi parede de alvenaria de bloco cerâmico de vedação com seis furos, com o chapisco no traço 1:3 de cimento e areia (em volume). Foram executados painéis de 1,0 m² para cada argamassa com 1,5 cm de espessura. As leituras foram efetuadas após 24 horas de aplicação e aos 90 dias de idade.

Na Tabela 2 são encontradas as diversas relações entre os materiais constituintes das misturas, a variação do teor total de água em relação ao cimento, ao teor total de aglomerantes e o teor total de materiais secos, bem como a relação agregado/aglomerante, em massa das argamassas com e sem os teores de CBC.

Pode-se observar, na Tabela 2, que houve a necessidade do aumento da quantidade de água da mistura, para atingir a mesma consistência das argamassas, na medida em que se aumentavam os teores de CBC.

Tabela 2 – Parâmetros de proporção das argamassas

Argamassa	Relação água/materiais secos (massa)	Relação água/cimento (massa)	Relação água/aglomerante (massa)	Relação agregado/aglomerante (massa)
As ⁰ AN	0,231	2,55	1,328	5,0
As ⁵ AN	0,236	2,84	1,380	5,0
As ¹⁰ AN	0,223	2,62	1,365	5,0
As ¹⁵ AN	0,237	2,86	1,383	5,0
As ²⁰ AN	0,217	2,66	1,412	5,0

Durante a realização dos ensaios e o período em que as argamassas permaneceram embaladas, a média da umidade relativa do ar foi de 63%.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

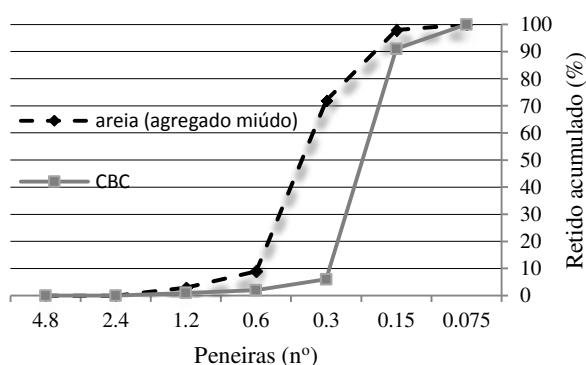
Inicialmente são apresentadas as caracterizações dos materiais e na sequência os resultados das propriedades das argamassas.

Tabela 3 – Resultados obtidos na caracterização da cal, cimento e da CBC

Tipos de ensaio	Cal virgem	Cimento <i>Portland</i>	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar
Massa unitária (g/cm ³)	0,968	1,45	1,085 kg/dm ³
Massa específica real (g/cm ³)	3,1	3,085	2,6 kg/dm ³
Finura (% retida) – Peneiras n° 18/n° 50)	1/20	–	

Na Figura 1 constam os resultados da granulometria da areia fina que foi utilizada na argamassa seca em estufa, bem como da CBC.

Figura 1 – Análise granulométrica da areia (agregado miúdo) e da CBC



3.2 Propriedades ensaiadas para as argamassas no estado plástico

Os resultados obtidos para a argamassa seca com areia natural e as com substituição de areia por CBC estão apresentados a seguir, com análise individual de cada propriedade.

3.2.1 Massa específica e teor de ar incorporado

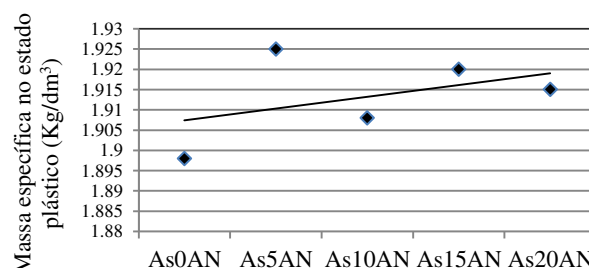
Na Figura 2 nota-se aumento da massa específica no estado plástico para a argamassa maturada seca com substituição de CBC em relação à argamassa maturada seca com areia natural. Todavia se percebe que a argamassa com substituição de 5% de areia por CBC foi a que mais aumentou, provavelmente pelo fato de ter ocorrido o preenchimento dos vazios do agregado, em decorrência de

3.1 Resultados da caracterização dos materiais

Na Tabela 3 constam os resultados da caracterização da cal virgem comum (CVC), do cimento *Portland* comum classe 32 (CP II Z – 32) e da CBC.

ser uma quantidade que não gerou excesso de finos ou erro na leitura.

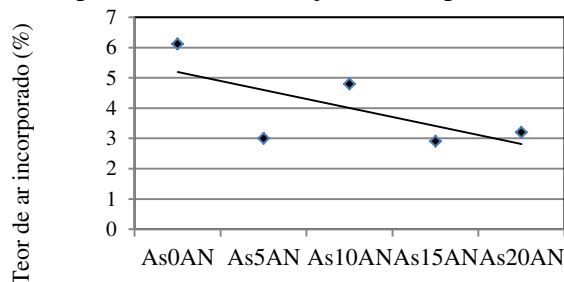
Figura 2 – Massa específica das argamassas no estado plástico



Argamassa maturada seca com cinza de bagaço de cana-de-açúcar

Ao observar a Figura 3 verifica-se que houve redução no teor de ar incorporado com a substituição da areia natural pela CBC. Isto pode ter ocorrido em função do fechamento do empacotamento granulométrico e quando passou a ocorrer o excesso de finos pode ter levado a uma aproximação entre os grãos, gerando um aumento da superfície específica dos agregados e, conseqüentemente, a queda no teor de ar incorporado.

Figura 3 – Teor de ar incorporado das argamassas

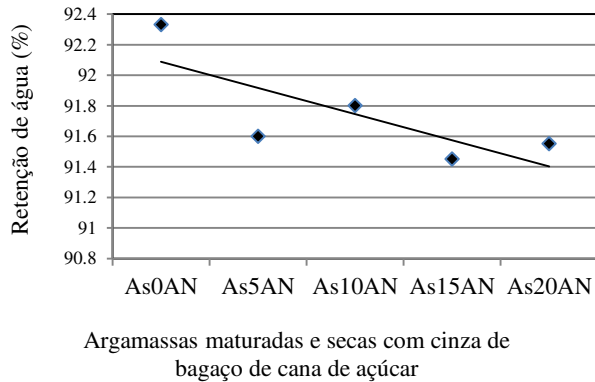


Argamassas maturadas secas com cinza de bagaço de cana-de-açúcar

3.2.2 Retenção de água

De acordo com a Figura 4 observa-se que as argamassas com adição de CBC apresentaram resultados ligeiramente inferiores à argamassa de referência quanto à retenção de água. Uma hipótese para explicar essa constatação consiste presença de um maior teor de finos nas argamassas.

Figura 4 – Retenção de água para as argamassas secas em estufas



3.2.3 Exsudação de água

Na Tabela 4 estão relacionados os valores médios de cinco determinações da exsudação de água para as argamassas, extraída em massa e água acumulada exsudada (quantidade de água exsudada das amostras pelo total de água utilizada na mistura) para os teores de CBC utilizados na argamassa seca em estufa, com medidas de tempos em 15, 30, 60, 120 minutos, respectivamente. No tempo de 240 minutos não havia mais água exsudada. Os valores, quando zerados, não foram incluídos.

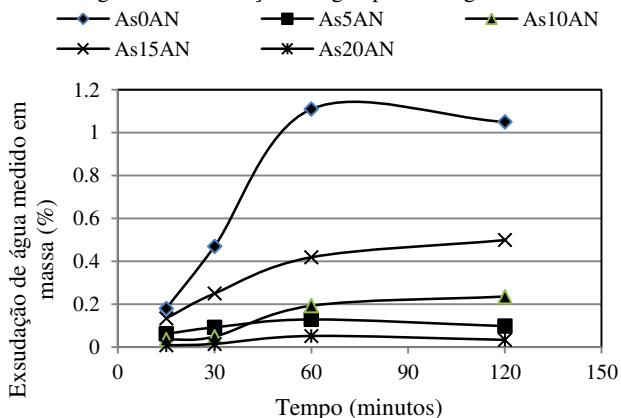
Na Figura 5 é apresentada a taxa de exsudação para as argamassas secas em estufas com e sem substituição de areia por CBC.

Pela análise da Figura 5 é possível se constatar a redução acentuada na exsudação de água nas argamassas, conforme as substituições de areia por CBC, em relação à argamassa de referência. A argamassa com 20% de CBC foi a que apresentou a menor taxa de exsudação de água, porém também ficou muito próxima da argamassa com substituição de 5%. Como se pode perceber, o aumento de finos leva ao fechamento do pacote granulométrico das argamassas.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de exsudação de água – medição em massa

Argamassas	Água exsudada (%)					Índice de consistência (mm) entre 245 e 265 mm	Água exsudada acumulada (%)
	Tempo (minutos)						
	15	30	60	120	240		
As ⁰ AN	0,180	0,470	1,11	1,05	0,0	255	0,560
As ⁵ AN	0,062	0,092	0,129	0,098	0,0	256	0,065
As ¹⁰ AN	0,0349	0,049	0,193	0,236	0,0	257	0,103
As ¹⁵ AN	0,134	0,250	0,419	0,499	0,0	256	0,260
As ²⁰ AN	0,008	0,015	0,052	0,034	0,0	255	0,014

Figura 5 – Exsudação de água para as argamassas



com substituições de areia por CBC no estado endurecido, encontram-se apresentados nas subseções a seguir.

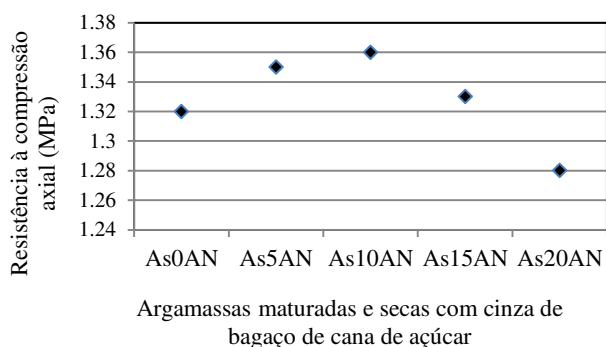
3.3.1 Resistência à compressão axial

Na Figura 6 observa-se que houve um ligeiro aumento da resistência à compressão axial aos 28 dias, para a argamassa maturada seca com substituição de areia por CBC em relação à argamassa maturada seca com areia natural. Isto pode ter ocorrido em função da maior quantidade de material pulverulento da CBC devido ao efeito filer. Nota-se que, com a substituição de 20% de areia por CBC, a resistência volta a cair, com valor abaixo da argamassa de referência, talvez por apresentar excesso de finos

3.3 Propriedades das argamassas ensaiadas no estado endurecido

Os resultados das propriedades estudadas (resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, módulo de deformação estática, absorção de água por imersão, absorção de água por capilaridade e fissuração) para a argamassa seca com areia natural e as

Figura 6 – Resistência à compressão axial das argamassas

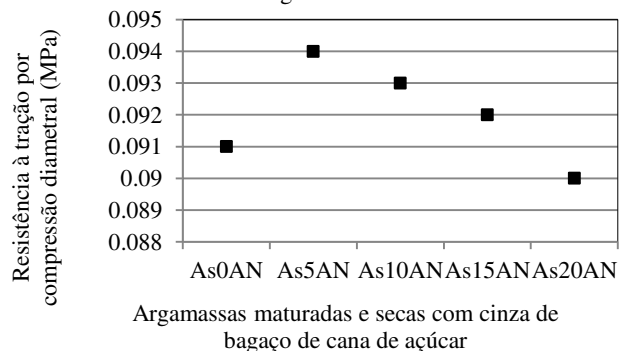


Ao fazer uma analogia com os resultados obtidos por Rodrigues (2008), que utilizou cinza de casca de arroz, embora com argamassa só de cimento e areia e ainda em substituição ao cimento, o autor verificou um comportamento diferente, ou seja, redução para a resistência à compressão axial proporcionalmente a todos os teores de substituição, em relação ao comportamento obtido neste estudo com a cinza de bagaço de cana de açúcar, no qual a argamassa é mista de cimento, cal e areia e com substituição da areia por cinza de bagaço de cana de açúcar.

3.3.2 Resistência à tração por compressão diametral

Na Figura 7 verifica-se que houve um ligeiro aumento da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias, com maior aumento para a argamassa maturada seca com substituição de 5% de areia por CBC em relação à argamassa maturada seca com areia natural. Como também ocorreu para resistência à compressão axial, da mesma forma, com a substituição de 20% de areia por CBC, a resistência à tração por compressão diametral apresentou tendência de queda em relação à argamassa de referência.

Figura 7 – Resistência à tração por compressão diametral das argamassas

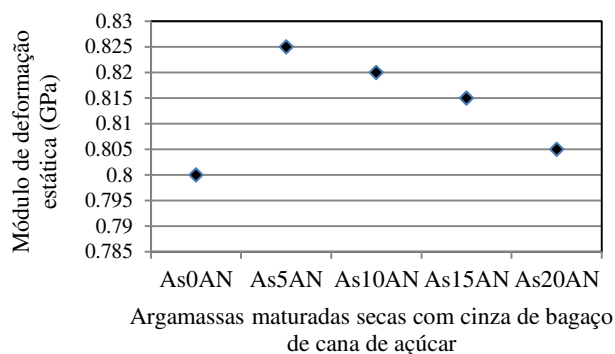


3.3.3 Módulo de deformação estática

Observa-se na Figura 8 que o módulo de deformação estática das argamassas secas com substituição de areia por CBC ficou ligeiramente mais alto em relação à argamassa com areia natural. Tal como para a resistência à compressão, o crescimento do módulo de deformação das

argamassas com CBC pode ter ocorrido em função da maior quantidade de material pulverulento deste material, devido ao efeito filer. Embora para argamassa de revestimento, como ela tem a função de absorver deformações, o aumento do módulo acaba por diminuir a energia de deformação.

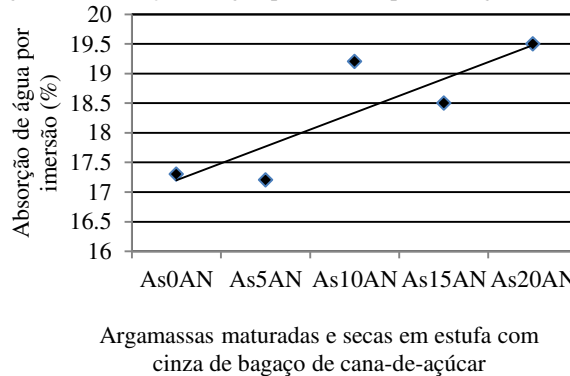
Figura 8 – Módulo de deformação estática das argamassas



3.3.4 Absorção de água por imersão

Ao observar a Figura 10 verifica-se que houve uma ligeira redução na absorção de água por imersão para a argamassa com 5% de substituição da areia por CBC, em relação à argamassa de referência e voltou a aumentar a partir dos 10% de substituição. Esse comportamento é condizente com outras propriedades, como a exsudação de água e módulo de deformação estática.

Figura 9 – Absorção de água por imersão para as argamassas

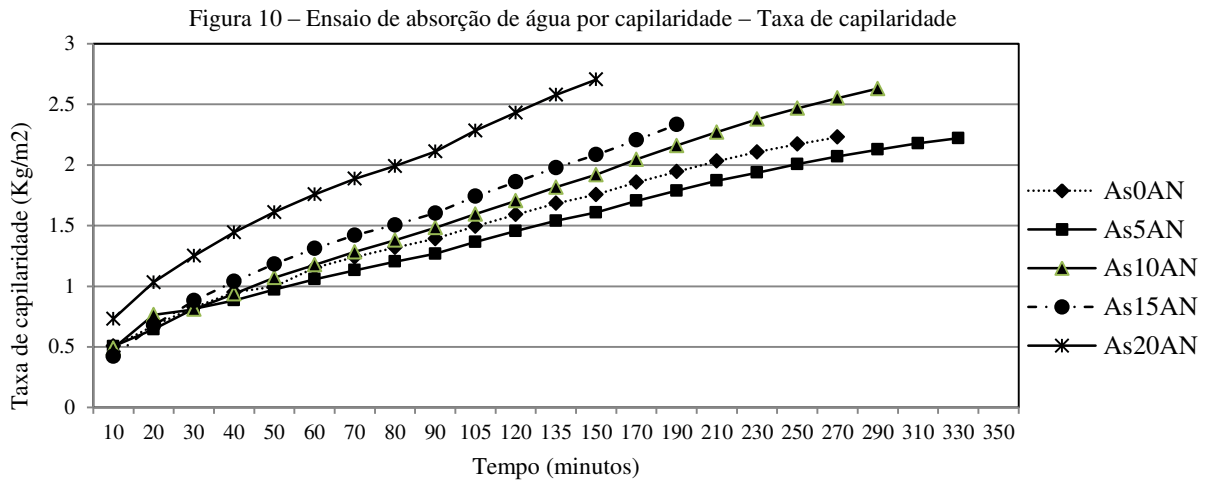


3.3.5 Absorção de água por capilaridade

Na Figura 10 é apresentado o gráfico da taxa de capilaridade para as argamassas secas em estufas, com e sem substituição de areia por CBC.

Com os resultados obtidos no experimento de absorção de água por capilaridade observa-se, na Figura 10, que a argamassa com substituição de 5% de areia natural pela CBC foi a que apresentou as menores taxas de capilaridade e o maior tempo para água atingir o topo do corpo de prova da argamassa. Esta substituição acabou por colaborar com a distribuição granulométrica do agregado, ou seja, apresentou uma distribuição mais contínua para o agregado e, conseqüentemente, o fechamento do pacote granulométrico, o que contribuiu para a redução da taxa de

capilaridade. No entanto, a argamassa com 20% de substituição de areia por CBC foi a que apresentou a maior taxa de capilaridade.



A argamassa com 10% de substituição da areia pela CBC também apresentou um tempo maior para a água atingir o topo do corpo de prova, porém a taxa de capilaridade apresentou-se maior que a da argamassa de referência.

Pelo ensaio de absorção de água por capilaridade, pode-se afirmar que a substituição de 5% de areia por CBC contribui de forma positiva para argamassa de revestimento.

3.3.6 Fissuração

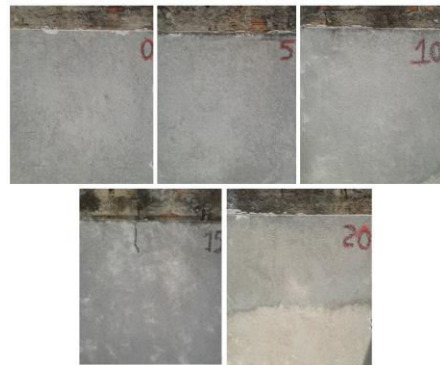
Para a medida das fissuras, foi utilizado um painel de alvenaria de bloco cerâmico, o qual se situava fora do ambiente do laboratório e o lançamento da argamassa foi realizado no período da tarde, após as 17h30min. no mês de fevereiro, com temperatura na faixa de 23 ± 2 °C. Nesse período, o local recebia sombra de um prédio ao lado. Os painéis só receberam incidência de sol a partir das 8h00min até às 14h00min.

Após 24 horas do lançamento, nenhuma das argamassas apresentou fissuras consideradas de aplicação. Enquanto que após os 90 dias de aplicação das argamassas, somente aquela que teve 15% de substituição de areia pela CBC apresentou uma única fissura fina, por retração, de aproximadamente 5 cm. Talvez não tenha havido uma maior incidência de fissuras nas argamassas pelo período considerado no ensaio, o qual corresponde o período de fevereiro a junho de 2013, compreendendo o final do verão e o outono, o qual não atingiu o período mais quente de verão.

Na Figura 11 estão apresentadas fotos dos painéis da argamassa de referência (com a numeração 0) e as com substituição de 5%, 10%, 15% e 20% da areia natural pela CBC (o número dos painéis corresponde às percentagens estudadas). Essas fotos foram feitas após 20 meses da aplicação. Portanto, pode ser observado na argamassa com 15% de substituição que houve um aumento da fissura que era de aproximadamente 5 cm, isto em função da fissura na base, ou seja, exatamente na junta vertical da alvenaria, portanto a fissura apresentada inicialmente não correspondia fissura na argamassa, mas sim da base. Na

argamassa com 20% de substituição aparece, na parte inferior da foto, uma faixa mais clara, que se deve ao fato de ter sido encostado um monte de brita no revestimento de argamassa, o qual ficou por alguns meses, tendo sido retirado para fazer a foto.

Figura 11 – Fotos da argamassa de referência e as com substituição de 5%, 10%, 15% e 20% de CBC



CONCLUSÃO

De acordo com as propriedades ensaiadas para as argamassas com e sem substituição de areia por CBC, pode-se concluir que:

A redução da massa específica das argamassas com adição de CBC é favorável, muito embora não tenha contribuído para a redução do teor de ar incorporado.

A tendência de redução na retenção de água também não é muito favorável, mas isso não chega ser um problema na hora da aplicação.

O aumento nas propriedades mecânicas para a argamassa de revestimento com substituição de areia por CBC também não é muito favorável, pois acaba por aumentar o módulo de deformação. No entanto, para a substituição de 5% de areia por CBC o módulo foi semelhante à argamassa de referência.

O aumento na absorção de água por imersão também é outro fator não muito interessante, porém para a

argamassa com 5% de substituição de areia por CBC não houve alteração em relação à argamassa de referência.

Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, a argamassa com 5% de substituição de areia por CBC apresentou uma melhor distribuição granulométrica do agregado, ou seja, apresentou uma distribuição mais contínua para o agregado e consequentemente o fechamento do pacote granulométrico. Isso contribuiu para a redução da taxa de capilaridade, além de apresentar um tempo maior para a água atingir o topo do corpo de prova.

Quanto ao ensaio de exsudação de água, a argamassa que apresentou a menor exsudação de água acumulada foi a com 20% de substituição da areia pela CBC, porém próximo da argamassa com 5% de substituição.

Quanto ao ensaio de fissuração, a única argamassa que apresentou fissura visível foi aquela com 15% de substituição da areia pela CBC.

Ao considerar todas as propriedades estudadas pode-se concluir que uma porcentagem de substituição de até 5% de areia por CBC, contribui de forma positiva para a produção de argamassa de revestimento. Apesar de ser uma porcentagem pequena, traz grandes benefícios para o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo de deformação estática: Tensão Deformação: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6453**: Cal virgem para construção civil: Especificação, Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 9779**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto: Determinação da absorção de água por capilaridade: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto: Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto: Determinação da resistência à compressão: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland: Determinação da massa específica: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Procedimento, Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas: Determinação da finura, Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregado no estado solto: determinação da composição granulométrica: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por imersão índice de vazios e massa específica: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto: Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e teto: Determinação da retenção de água: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR NM 45**: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 7222**: Concreto e Argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral: Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2011.

BESSA, S. A. L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Resolução n. 001, de 23 de janeiro de 1986, publicado no DOU, de 17.02.1986.

_____. Conselho Nacional de Meio Ambiente. -

Resolução n. 237, de 19 de dezembro de 1997, publicado no DOU, de 22.12.1997.

_____. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2007. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

CANOVA, J. A. **Estudo e análise das propriedades da argamassa de cal e areia suprimida a água da mistura após maturação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2002. PMCID:PMC2375436.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, C. H. **Argamassa de revestimento: Características, Propriedades e Métodos de ensaio**. Publicação IPT 2378, 1ª ed. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, 118 p.

CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K. Effects of LOI of ground bagasse ash on the compressive strength and sulfate resistance of mortars. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 3523–3531, 2009.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.046>.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

- DE PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006. PMCid:PMC4092381.
- FARIAS, M. S. S.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J.; LEITE, E. P. F.; ANDRADE, A. R. S. Degradação da bacia hidrográfica do rio cabelo e os efeitos ao meio ambiente. **PRINCIPIA**, João Pessoa, PB, ano 10, n. 14, 2006.
- FIESP/CIESP. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa**. São Paulo, 2001.
- FREITAS, E. S. **Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar do município de Campos dos Goytacazes para o uso na construção civil**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes, 2005.
- GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; TCHANGANEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement & Concrete Composites**, v. 29, p. 515-524, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001>.
- JENDIROBA, E. Aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira. In: Spadotto, C. A.; Ribeiro, W. C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, cap. 6, p. 138-156, 2006.
- JIMÉNEZ-QUERO, V. G.; LEÓN-MARTÍNEZ, F. M.; MONTES-GARCÍA, P.; GAONA-TIBURCIO, C.; CHACÓN-NAVA, J. G. Influence of sugarcane bagasse ash and fly ash on the rheological behavior of cement pastes and mortars. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 691-701, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.023>.
- MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 2009.
- MARTINS, C. H.; MACHADO, P. H. T. Influência da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em blocos para pavimentos intertravados. In: **Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura**, 7, 2009, Anais..., Maringá: UEM, 2009. CD-ROM.
- NAGANO, M. F. **Dosagem do concreto autoadensável utilizando a cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2014.
- NUNES, I. H. S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza de bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2009.
- RILEM. International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures – RILEM. MR –
6. **Tendency of water to separate from mortars (bleeding)**. 1st ed., France, 1982.
- RODRIGUES, M. S. **Caracterização de cinza residual da queima de casca de arroz para a produção de argamassa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP, 2008.
- SALES, A.; LIMA, S. A.; MORETTI, J. P.; ALMEIDA, F. C. R.; SANTOS, T. J. Caracterização de concretos confeccionados com a cinza do bagaço de cana-de-açúcar. In: **Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas**, 6, 2010, Anais... Córdoba: CINPAR, 2010.
- SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, v. 30, p. 1114-1122, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.026>.
- SOUZA, G. N.; FORMNAGINI, S.; CUSTÓDIO, F. O.; SILVEIRA, M. M. Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. In: **Congresso Brasileiro de Concreto**, 49, 2007, Bento Gonçalves, RS. Anais... IBRACON, 2007.
- ZARDO, A. M.; BEZERRA, E. M.; MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JR., H. Utilização da cinza de bagaço de cana de açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento. In: **Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1, e Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10**, 2004. Anais... São Paulo, ANTAC, 2004.