

# DESENVOLVIMENTO DE PASTAS E ARGAMASSAS CONTENDO CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA OBTENÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL

## PASTES AND MORTAR DEVELOPMENT USING THE SUGARCANE BAGASSE ASH TO SELF-COMPACTING CONCRETE

Marisa Fujiko Nagano<sup>1</sup>  
Romel Dias Vanderlei<sup>2\*</sup>  
Hugo Sefrian Peinado<sup>3</sup>  
Thiago Takaoka Alves Baptista<sup>4</sup>  
Amir Jamal Nunes Yassine<sup>5</sup>

**Resumo:** A presente pesquisa tem como proposta o desenvolvimento da pasta e argamassa utilizando a cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC) em substituição parcial da areia natural, para serem utilizadas no desenvolvimento de Concreto Autoadensável (CAA), além da valorização de um subproduto agroindustrial derivado do processo de cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras. Os ensaios foram desenvolvidos buscando-se estabelecer relações entre os fatores: resistência à compressão, relação água/cimento (a/c), relação agregado graúdo/cimento (Br/c) e consumo de cimento (C). Os resultados obtidos neste estudo mostram que são possíveis dosagens para pastas e argamassas, com e sem a utilização de CBC, na produção de CAA, sem que haja prejuízos nas propriedades reológicas e mecânicas do CAA, em comparação ao CAA sem a utilização de CBC, comprovando ser possível a utilização do resíduo CBC como agregado miúdo em substituição parcial da areia no CAA, contribuindo dessa forma com a redução no consumo de areia e propiciando o aproveitamento desse resíduo como agregado na construção civil.

**Palavras-chave:** Concreto autoadensável. Cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Reologia.

**Abstract:** This research proposal is the development of paste and mortar using sugarcane bagasse ash (SBA) in partial replacement of natural sand, to be used in the development of self-compacting concrete (SCC), and the valuation of an agricultural byproduct derived from cogeneration in sugarcane mills process. The tests were developed trying to establish relations among factors: compressive strength, water/cement ratio (w/c), coarse aggregate/cement ratio (Ca/c) and cement consumption (C). The results of this study show that dosages for mortars and pastes with and without SBA, in the SCC production, are possible, without losses in the rheological and mechanical properties of SCC, compared to SCC without SBA, proving the possibility of using the residue SBA as aggregate in partial replacement of sand in SCC, thereby contributing to the reduction in the consumption of sand and allowing the use of this residue as aggregate in construction.

**Keywords:** Self-compacting concrete. Sugarcane bagasse ash. Rheology.

## 1 INTRODUÇÃO

Considerando as pesquisas inovadoras e revolucionárias na área da construção em estruturas de concreto nos últimos anos, o concreto autoadensável (CAA) tem apresentado uma série de vantagens frente aos concretos convencionais, quais sejam: excelente trabalhabilidade e baixa permeabilidade, propriedades resultantes da introdução de aditivos especiais e materiais finos em sua composição (EFNARC, 2002; BAMONTE;

<sup>1</sup> Profa. M.Sc., Faculdade Ingá – UNINGÁ. nfmalisa@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Departamento de Engenharia Civil (DEC), Universidade Estadual de Maringá (UEM). rdvanderlei@uem.br. Autor para correspondência.

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, M.Sc. hspeinado@gmail.com

<sup>4</sup> Acadêmico, Engenharia de Produção (DEP), Universidade Estadual de Maringá (UEM). thiago-takaoka@hotmail.com

<sup>5</sup> Acadêmico, Engenharia de Produção (DEP), Universidade Estadual de Maringá (UEM). amirnunes@gmail.com

GAMBAROVA, 2011). Novas formas de utilização de resíduos industriais ou agrícolas como fontes alternativas de matérias-primas para a indústria da construção são pesquisadas em todo o mundo, almejando a redução do consumo de recursos naturais. Entre esses resíduos destaca-se a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), que vem sendo estudada para utilização como agregado em concretos e argamassas (MOLIN FILHO, 2012; PEINADO, et al., 2013; NAGANO, 2014; VANDERLEI, et al., 2014a; VANDERLEI, et al., 2014b). Neste contexto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento da pasta e argamassa utilizando a CBC em substituição parcial da areia natural, sendo que essas etapas constituem o desenvolvimento da dosagem do CAA, além da valorização de um subproduto agroindustrial derivado do processo de cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras, a cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento do CAA, tem-se a dosagem da pasta e da argamassa. No presente estudo, foram estabelecidas as seguintes etapas metodológicas: seleção dos materiais, obtenção de pasta com características para CAA, obtenção de argamassa com características para CAA, e a utilização das mesmas em dois traços de CAA, com e sem CBC.

Inicialmente foi realizado o estudo da pasta que é composta por cimento, água, filer e aditivo superplastificante. O estudo para obtenção da melhor pasta buscou a fixação de três relações fundamentais para a reologia da pasta e são: superplastificante/cimento (sp/c), filer/cimento (f/c) e água/cimento (a/c). A fixação dessas relações foi feita por meio dos ensaios do funil de Marsh e do mini cone, conforme dispositivos demonstrados nas Figuras 1 e 2. Os ensaios e os resultados estão detalhados por Nagano (2014).

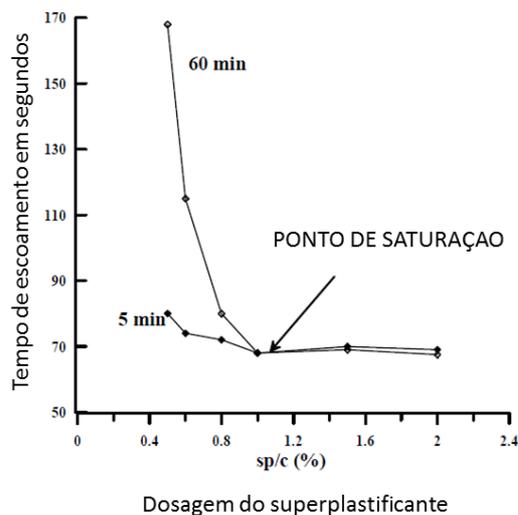


**Figura 1.** Funil de Marsh



**Figura 2.** Ensaio de Mini-Slump

Os procedimentos citados por Aitcin (2000) determina o tempo de escoamento da pasta pelo funil de Marsh com diferentes dosagens de superplastificantes, medidos em diferentes intervalos de tempo, obtendo-se curvas que determina o ponto de saturação, conforme ilustração apresentada na Figura 3, a dosagem nesse ponto é chamada de dosagem de saturação, na qual qualquer aumento na quantidade de superplastificante não produz nenhum efeito positivo na reologia da pasta. O método busca determinar a dosagem de superplastificante na pasta de cimento, usando como critério o controle de sua fluidez.



**Figura 3.** Determinação do Ponto de Saturação-Método de Aitcin (2000)  
Fonte: Aitcin (2000)

Realizou-se também o Ensaio do Mini-Slump (Mini-Cone), no qual verifica-se a capacidade de espalhamento da pasta medindo-se o tempo  $T(115)$  que a amostra leva para atingir o espalhamento de 115mm de diâmetro, assim como o seu espalhamento final. As relações ótimas de dosagens são aquelas nas quais os resultados estejam na faixa de  $2s \leq T(115) \leq 3,5s$  e espalhamento final na faixa de  $180 \pm 10mm$  (GOMES, 2002).

A partir dos melhores resultados obtidos do fator superplastificante/cimento (sp/c), dos fatores água/cimento (a/c) e filer calcário/cimento (f/c), foi iniciado o estudo da argamassa.

O estudo da argamassa foi realizado de acordo com os procedimentos utilizado por Nagano (2014), em que se encontram os ensaios e resultados em detalhes. Os materiais utilizados no estudo foram: areia, filer calcário, água, cimento CPV-ARI-RS, aditivo superplastificante GLENIUM 51 e cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC).

A geração da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) ocorre durante a queima do bagaço nas caldeiras durante o processo de co-geração energia, sendo essa uma fase complementar do reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar no processo de obtenção do açúcar e álcool, o processo de geração do resíduo é demonstrado na Figura 4 a) b) c) d) e) f).



**Figura 4.a)**



**Figura 4.b)**



**Figura 4.c)**



**Figura 4.d)**



**Figura 4.e)**



**Figura 4.f)**

**Figura 4.** Processo de geração da CBC

a) Depósito aberto do bagaço da cana-de-açúcar, b) Entrada do bagaço nas caldeiras, c) Caldeiras para o processo de geração de energia, d) Fornos para queima do bagaço, e) Saída final da CBC no final do processo, f) aspecto final da CBC acumulada.

Pelas características apresentadas, a CBC é classificada como um resíduo sólido de categoria rural e natureza de classe II (não inertes) ABNT NBR 10004:2004.

A caracterização da CBC foi realizada por Nunes (2009), conforme resultados apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Caracterização da CBC

| Caracterização da CBC      |                    |      |
|----------------------------|--------------------|------|
| Teor de Umidade            | %                  | 0,67 |
| Matéria Orgânica Total     | %                  | 3,55 |
| Carbono Orgânico           | %                  | 1,97 |
| Área Específica dos Grãos  | m <sup>2</sup> /kg | 5356 |
| Massa Específica dos Grãos | g/cm <sup>3</sup>  | 2,61 |
| Diâmetro Máximo            | mm                 | 0,20 |

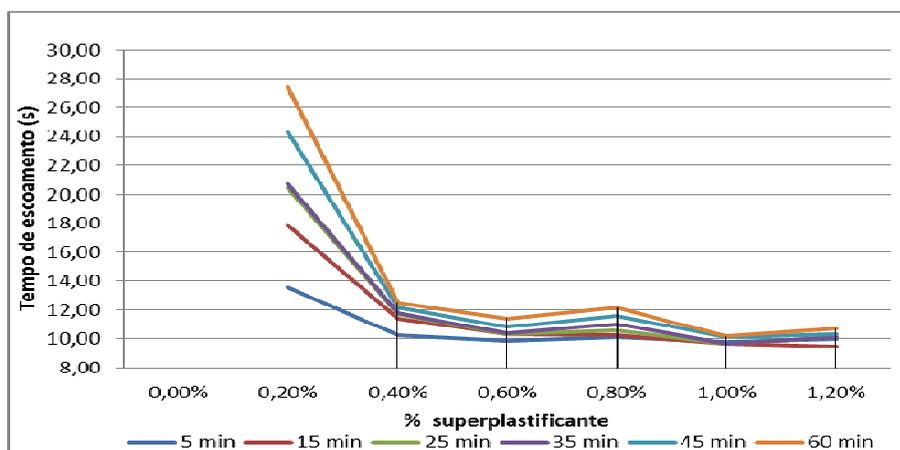
Os critérios para avaliação da dosagem ótima de superplastificante nas argamassas foram os valores de  $G_m = 5 \pm 0,5$  para o espalhamento relativo. Inicialmente realizaram-se ensaios para argamassa sem CBC, posteriormente foram realizados estudo da argamassa com CBC. A avaliação realizada para ambas foi o Ensaio do Tronco de Cone, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5.** Ensaio da Argamassa

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo para obtenção da melhor pasta visa a otimização de quatro fatores fundamentais, relação água/finos (a/f), relação superplastificante/cimento (sp/c), relação filer/cimento (f/c) e relação água/cimento (a/c). Esta etapa da metodologia foi realizada visando a determinação da melhor relação sp/c, para um valor de a/c igual a 0,6 adotado e para uma relação f/c de 0,4. A relação sp/c ótima foi determinada pelos ensaios do funil de Marsh e do Mini-Cone. O resultado pode ser analisado por meio do gráfico apresentado na Figura 6, na qual observa-se o teor ótimo de superplastificante de 0,6%.



**Figura 6.** Teor ótimo de superplastificante para o fator a/c=0,6 sem CBC

### 3.1 ESTUDO DA ARGAMASSA

Os resultados obtidos nos estudos das pastas serviram de estimativas e direcionamento para os ensaios iniciais das argamassas para o traço de CAA. Nos estudos da argamassa realizou-se ensaios buscando-se atingir a dosagem ótima de superplastificante verificado por meio do espalhamento  $G_m = 5 \pm 0,5$ , conforme apresentado na Figura VII, sem CBC e após realiza-se os ensaios da argamassa com a utilização da CBC, substituindo parcialmente a areia, conforme demonstrado na Figura VIII. Com base nos resultados dessa fase do estudo, concluiu-se que a dosagem ótima para a argamassa sem CBC foi de  $sp/c = 0,23\%$ , e  $sp/c = 0,26\%$  para a argamassa com CBC.



**Figura 7.** Espalhamento da argamassa fator  $a/c=0,6$  sem CBC



**Figura 8.** Espalhamento da argamassa fator  $a/c=0,6$  com 10 % CBC

### 3.2 PRODUÇÃO DO CAA

Os resultados obtidos nos ensaios das argamassas são utilizados no desenvolvimento do CAA, visando determinar a composição ótima de britas e argamassas que proporcionem aos concretos estudados características autoadensáveis.

É determinado nesta etapa o percentual ótimo para o volume de argamassa ( $V_{arg}$ ), esse volume foi definido de acordo com o realizado por Nagano (2014), e ficou estabelecido com valor igual a 60%, por apresentar resultados de fluidez e habilidade passante classificados como classes SF1 e PJ1 da ABNT NBR 15823-1:2010. Buscou-se também determinar o volume de brita ( $V_{br}$ ), que está diretamente relacionado com o volume de argamassa. Na sequência foi realizado o desenvolvimento do CAA de acordo com as diretrizes da norma ABNT NBR 15823:2010.

Assim, o traço do CAA foi definido fixando-se o  $V_{arg}$  em 60% , o espalhamento em  $640mm \pm 10mm$ , e utilizando a composição de argamassas definida na Tabela 1.

**Tabela 1.** Relação entre materiais para Pastas e Argamassas, em massa

| Pastas |      |        | Argamassa sem CBC |        |      | Argamassa com CBC |        |      |
|--------|------|--------|-------------------|--------|------|-------------------|--------|------|
| a/c    | f/c  | sp/c   | ar/c              | sp/c   | cbc  | ar/c              | sp/c   | Cbc  |
| 0,60   | 0,40 | 0,0060 | 2,00              | 0,0023 | 0,00 | 1,80              | 0,0026 | 0,20 |

Para o estudo do CAA com CBC foi estabelecida a substituição da areia natural por CBC na taxa de 10%, em massa. Na Tabela 2 são apresentadas as composições dos traço de CAA, em massa, com e sem CBC em sua composição.

**Tabela 2.** Composições dos Traços de CAA, em massa

|                    | Sem CBC | Com 10% CBC |
|--------------------|---------|-------------|
| Volume argamassa   | 60%     | 60%         |
| Cimento            | 1,00    | 1,00        |
| Filer              | 0,40    | 0,40        |
| Areia              | 2,00    | 1,80        |
| CBC                | 0,00    | 0,20        |
| Brita              | 2,96    | 2,92        |
| Água               | 0,60    | 0,60        |
| Superplastificante | 0,50%   | 0,45%       |

A fim de definir o traço de cada concreto, foi ajustada a quantidade de superplastificante de forma que o concreto atingisse o espalhamento requerido e os critérios de viscosidade, habilidade passante e segregação exigidos pela ABNT NBR 15823-1:2010.

Os resultados obtidos mostraram que os traços estudados estão de acordo com a norma apresentando valores de  $640\text{mm} \pm 10\text{mm}$ .

Na Figura 9 observa-se o espalhamento obtido do CAA sem CBC, em que verifica-se ausência de segregação. A Figura X demonstra o aspecto do espalhamento do CAA com 10 % de CBC.



**Figura 9.** Espalhamento do CAA sem CBC



**Figura 10.** Espalhamento do CAA com 10 % de CBC

Para os CAA desenvolvidos com e sem CBC, foram realizados ensaios para determinar a resistência à compressão média em corpos-de-prova cilíndricos (10cm x 20cm), nas idades de 3, 7 e 28 dias. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2.** Resistência à Compressão

| TRAÇOS              | Resistência à compressão ( $f_c$ ) (MPa) |                |                 |
|---------------------|--|----------------|-----------------|
|                     | Idade (5 dias)                           | Idade (7 dias) | Idade (28 dias) |
| a/c=0,6 Sem CBC     | <b>15,26</b>                             | <b>16,00</b>   | <b>21,53</b>    |
| a/c=0,6 com 10% CBC | <b>14,90</b>                             | <b>15,10</b>   | <b>22,83</b>    |

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos comprovam que os procedimentos utilizados viabilizam a dosagem de pastas e argamassas para serem utilizadas no desenvolvimento do CAA, sendo possível substituir parcialmente a areia por CBC até uma taxa de 10% da massa total de areia, sem que haja prejuízo nas propriedades reológicas e mecânicas do CAA em comparação ao CAA sem a utilização de CBC. Comprovando, dessa forma, ser possível a utilização do resíduo CBC como agregado miúdo em substituição parcial da areia no CAA, contribuindo com a redução no consumo de areia no CAA, e propiciando o aproveitamento do resíduo CBC como agregado na construção civil.

#### REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 10004. Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT NBR 15823-1. Concreto auto-adensável. Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.
- AITCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. São Paulo: Ed. Pini, 2000. 662p.
- BAMONTE, P.; GAMBAROVA, P. G. A study on the mechanical properties of self-compacting concrete at high temperature and after cooling. Materials and Structures, RILEM Publications, France, 28 January 2011.
- EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). Specification and guidelines for self-compacting concrete. In: *EFNARC*, Fev.2002. Disponível em: <http://www.EFNARC.org/pdf/SandGforSCC.PDF>. Acesso em: 20 ago. 2014.

MOLIN FILHO, R G. D. Concreto autoadensável com a utilização da cinza do bagaço de cana. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

PEINADO, H. S.; NAGANO, M.F.; MOLIN FILHO, R.G.D.; VANDERLEI, R. D. . Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas. In: Simpósio sobre Materiais e Construção Civil, 2013, Toledo. Anais eletrônicos... Toledo: UTFPR, 2013. p. 1-9.

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, 2014.

NUNES, I. H. S. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

VANDERLEI, R. D.; PEINADO, H. S.; NAGANO, M.F.; MOLIN FILHO, R.G.D. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 08, p. 21-31, 2014a.

VANDERLEI, R. D.; PEINADO, H. S.; NAGANO, M.F. ; MOLIN FILHO, R.G.D . Utilização de Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar em Concretos e Argamassas. In: Bressiani, L; Poletto, C.. (Org.). Tópicos Especiais em Construção Civil. Toledo: GFM, 2014b. p. 7-28.