



ANÁLISE DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO EM PAVERS FABRICADOS COM CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Silvia Paula Sossai Altoé¹, Almir Sales², Carlos Humberto Martins³

RESUMO: A indústria da construção civil enfrenta uma questão importante: atender as necessidades de sociedade em infraestrutura e moradia sem degradar e poluir o meio ambiente. Por este motivo pesquisas estão sendo desenvolvidas com o objetivo de encontrar e desenvolver materiais alternativos, que substituam os materiais tradicionais e que sejam ambientalmente viáveis, muitas vezes estes materiais são resíduos de outras cadeias produtivas. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um destes materiais, é um resíduo obtido da queima do bagaço da cana, utilizado como fonte de energia nas usinas termoelétricas, e vem sendo utilizado como substituo tanto do agregado miúdo como do aglomerante. Os concretos e argamassas produzidos com este resíduo apresentam melhora nas características mecânicas, até mesmo quando substitui o agregado da matriz cimentícia, o que pode contribuir para uma redução no consumo de cimento da composição. Desta forma com a utilização da CBC poderia contribuir de várias maneiras para redução de problemas ambientais, o primeiro seria garantir uma destinação adequada a este resíduo, segundo na redução da extração de areia e por último na redução de CO₂ emitido pela indústria cimenteira. O objetivo deste trabalho é o estudo da redução do consumo de cimento quando a utilização da CBC como substituto da areia com teor de substituição de 25% na confecção de blocos de concreto para pavimentação (pavers) sujeitos à solicitações leves. Para tanto serão confeccionados pavers com diferentes consumos de cimento, 300, 350 e 437 kg/m³, com e sem a substituição, que após a caracterização da CBC serão submetidos à ensaios de resistência à compressão conforme o exigido pela ABNT NBR 9781:2013. Os primeiros resultados demonstram que a CBC contribui para a melhora das características mecânicas dos pavers confeccionados, além de apresentar uma real redução no consumo de cimento.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza do bagaço da Cana-de-açúcar. Paver. Resistência à compressão. Consumo de cimento.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da indústria da construção civil, principalmente, nos países em desenvolvimento, é atender as necessidades da sociedade como um todo no que se refere às melhorias e ampliações do ambiente construído, seja na forma de moradia, edificações públicas e infraestrutura, com um emprego cada vez menor de recursos naturais (CHAMBERS; CHEN, 1999 apud JOHN, 2000). Mas a utilização de recursos naturais não é única preocupação do setor da construção civil quanto a questões ambientais. Hoje um dos principais materiais de engenharia é o concreto, devido às suas características mecânicas, versatilidade de formas e custo relativamente baixo, porém para sua fabricação é empregado como matéria prima o cimento Portland, cuja indústria é responsável pela emissão de uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) por tonelada de clínquer produzido, além de outros gases responsáveis pelo efeito estufa (MEHTA, 1999). Cerca de 7% de todo CO₂ emitido no mundo são provenientes da produção do cimento Portland (MEHTA e MONTEIRO, 2006).

A utilização de concreto nas construções cresce anualmente, elevando conseqüentemente o consumo de Cimento Portland e agregados naturais, matéria prima na confecção dos concretos. Com a finalidade de reduzir custos do produto final e também diminuir a degradação ambiental várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a finalidade de substituir os componentes do concreto por materiais alternativos, com composição semelhante. Por isso, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), subproduto da queima do bagaço como combustível na geração de energia tornou-se alvo de investigações como material substituto tanto do aglomerante quanto do agregado (CHUSILP, JATURAPITAKKUL E KIATTIKOMOL, 2009).

Durante o processo de queima do bagaço da cana-de-açúcar para geração de energia é produzida a CBC. Para cada tonelada de cana-de-açúcar produzida são gerados cerca 6 kg de CBC, se for levado em consideração a safra nacional 2014/2015 com um montante de 640 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e que todo o bagaço seria utilizado como fonte de energia seriam, então, produzidas aproximadamente 4 milhões de toneladas de CBC (CONAB, 2015). Esta cinza gerada durante o processo de combustão, apesar de não ser diretamente lançada no ar, pode poluir o ambiente quando lançada no ambiente de forma imprópria. A destinação adequada

¹ Doutoranda em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos. Professora Assistente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Apucarana. silviaaltoe@utfpr.edu.br

² Professor Titular da Universidade Federal de São Carlos. almir@ufscar.br

³ Professor do Doutor da Universidade Estadual de Maringá. chmartins@uem.br



deste resíduo constitui um dos maiores problemas das usinas, após a limpeza das caldeiras este ou é aproveitado na adubação ou então lançadas no ambiente sem tratamento adequado (SOUZA et al., 2007). Várias pesquisas demonstram que a CBC possui poucos nutrientes, além de ter degradação lenta, o que não justificaria a sua utilização como fertilizante (SOUZA et al., 2007; NUNES, 2009). A Figura 1 mostra o aspecto da cinza após peneiramento.



Figura 1 – Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar

Fonte: Altoé (2012)

Lima, Sales e Santos (2010) destacaram a importância dos estudos da CBC em adições minerais devido à sua composição física, estado amorfo ou cristalino, apresentando reatividade em meio aquoso com o hidróxido de cálcio, sendo assim indicada a sua utilização como adição mineral pozolânica em substituição parcial ou total ao cimento Portland.

A CBC tem apresentado bons resultados nas pesquisas realizadas quando o assunto é resistência mecânica. A melhora desta característica tão importante para concretos e argamassas fez com que este resíduo se tornasse alvo de muitos pesquisadores, principalmente em países grandes produtores de cana-de-açúcar, como Brasil, Índia e Tailândia. Este aumento da resistência pode contribuir para a diminuição no consumo de cimento na confecção de concretos e argamassas, o que auxiliaria na redução do impacto ambiental causado pela emissão de CO₂ pelas fábricas cimenteiras.

Além disto, na tentativa de reduzir a produção de clínquer pela indústria cimenteira ea buscar alternativas para substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos vários estudos vem sendo desenvolvidos. Essas pesquisas apontam para a utilização de vários tipos de resíduos industriais e agroindustriais, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, metacaulinita, cinza da casca do arroz e cinzado bagaço de cana-de-açúcar.

A aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) se deve ao fato do resíduo apresentar em sua composição química presença preponderante de sílica, tanto na fase amorfa quanto cristalina, o que tem permite sua utilização tanto como agregado, em substituição parcial do agregado miúdo, quanto como aglomerante, em substituição parcial do cimento, na fabricação de concretos e argamassas.

Machado e Martins (2010) analisaram a potencialidade da aplicação da cinza em argamassas e concretos em substituição da areia, como resultados obtiveram aumento de resistência tanto nas argamassas quanto nos concretos, com substituição de 50% e 20%, respectivamente. Ganesan; Rajagopal; Thangavel (2007), pesquisadores indianos, verificaram que utilizando uma substituição de 20% do cimento por CBC algumas propriedades do concreto foram melhoradas, como: aumento de resistência, diminuição da permeabilidade, maior resistência à penetração dos cloretos, o que melhora a durabilidade do concreto.

A resistência à compressão do concreto pode ser melhorada com adição da CBC, desde que esta tenha condições controladas de temperatura e moagem adequada. Segundo pesquisadores tailandeses a CBC obtida por queima à 600° C e beneficiada em processo de moagem pode substituir em 20% o cimento em concretos, apresentando excelentes resultados nas primeiras idades. Esta propriedade está ligada ao fato das pequenas partículas da CBC preencher os vazios e espaços anteriormente ocupados por ar, produzindo assim, um concreto mais denso (CHUSILP, JATURAPITAKKUL e KIATTIKOMO, 2010).



A CBC quando utilizada como substituto do agregado miúdo na fabricação de pavers contribui de forma significativa no aumento da resistência, na redução da absorção e da abrasão das peças. Em sua pesquisa Altoé (2012) chegou à um teor ótimo de 25% de substituição com um aumento na resistência da ordem de 25%.

Este trabalho tem como objetivo o estudo da redução do consumo de cimento quando a utilização da CBC como substituto da areia com teor de substituição de 25% na confecção de blocos de concreto para pavimentação (pavers) sujeitos à solicitações leves.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 aglomerante

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP V AR1vcj que este é o mais utilizado pelos fabricantes de pavers. As características obtidas junto ao fabricante atendem as normas brasileiras com relação ao limite mínimo de qualidade.

2.1.2 agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi a areia média proveniente de fornecedores da região de Maringá. Para uma primeira caracterização pode-se dizer que o material tem origem de quartzo.

2.1.3 agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na confecção dos blocos é proveniente da região de Maringá. Para uma primeira caracterização este material é definido como brita zero granítica, com diâmetro entre 4,8 e 9,5 mm, comercialmente conhecido como Pedrisco.

2.1.4 água

Para o amassamento do concreto foi adicionada à mistura água potável, proveniente da rede de abastecimento de água da cidade de Maringá, fornecida pela Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR.

2.1.5 cinza do bagaço de cana-de-açúcar (cbc)

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizada na pesquisa é proveniente da usina termoeletrica da COCAMAR Cooperativa Agroindustrial localizada cidade de Maringá, com temperatura de queima de 850°C.

2.2 MÉTODO

2.2.1 caracterização do resíduos - cbc

A CBC foi caracterizada de acordo com os seguintes parâmetros:

- Análise Granulométrica - ANBT NBR 7181:1984,
- Massa Específica e Teor de Umidade - ABNT NBR 6508:1984,
- Lixiviação, Solubilização e Classificação do resíduo - ABNT NBR 10005:2004, ABNT 10006:2004, ABNT NBR 10004:2004.

2.2.2 dosagem e moldagem dos pavers

Os pavers foram fabricados de acordo com os traços desenvolvido por Amadei (2011), utilizando o Método IPT/EPUSP adaptado por Helene e Terzian (1992) para concretos secos com diferentes consumos de cimento, , 300, 350 e 437 kg/m³, com e sem a substituição de acordo com a Tabela 01. Foram executados 6 traços diferentes, 3 referência e 3 com teor de substituição de agregado miúdo por CBC de 25%, melhor teor de substituição de acordo com a pesquisa de Altoé (2012).

Tabela 1: Consumo de cimento

| TRAÇO | | CONSUMO DE CIMENTO (KG/M ³) | FATOR A/C |
|-------|-------|--|-----------|
| Rico | 1:4 | 437 | 0,42 |
| Médio | 1:4,5 | 350 | 0,42 |



| | | | |
|-------|-----|-----|------|
| Pobre | 1:5 | 300 | 0,42 |
|-------|-----|-----|------|

A moldagem dos pavers foi realizada na na Fábrica de Artefatos de Concreto da Universidade Estadual de Maringá, utilizando uma vibro-prensa pneumática, marca Beton MB 900P, com capacidade de produção de 08 blocos por ciclo, com desforma sobre paletes. As dimensões das peça são (195x95x8)mm, condicionadas pelas fôrmas utilizadas na fábrica. A Figura 2 mostra um palete com os pavers recém moldados.



Figura 2 – Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar

Fonte: Altoé (2012)

2.2.3 propriedade dos pavers – resistência à compressão

Conforme previsto na ABNT NBR 9781:2013 e seguindo a metodologia estabelecida na ABNT NBR 9780:1987 os pavers fabricados com os diferentes teores de substituição foram ensaiados à compressão, no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá, a fim de determinar a resistência característica estimada à compressão de cada traço, foram fabricados 6 pavers para cada traço. A Tabela 2

Tabela 2: Traços

| TRAÇO | CONSUMO DE CIMENTO (KG/M3) | % CBC |
|-------|----------------------------|-------|
| T1 | 437 | 0 |
| T2 | 437 | 25 |
| T3 | 350 | 0 |
| T4 | 350 | 25 |
| T5 | 300 | 0 |
| T6 | 300 | 25 |

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização Do Resíduo

Quanto a classificação granulométrica a CBC, de acordo com a ABNT NBR 6502:1995, se enquadra nas areias médias, ou seja, mais de 50% da cinza ficou retida na peneira 0,200 mm. A massa específica do material é de 2,66 g/cm³, muito próxima da areia utilizada para a fabricação dos pavers.

Os valores do ensaio do extrato lixiviado se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Anexo F da ABNT NBR 10004:2004, classificado assim a CBC como um resíduo “NÃO PERIGOSO”. Alguns dos resultados para solubilização, encontrarem-se acima do permitido pela NBR 10004:2004 em seu Anexo F, por isto, este resíduo é enquadrado na classe dos não-inertes. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004, todas as amostras de CBC analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Esta classificação permite a utilização do resíduo em matrizes cimentícias sem tratamento ou cuidado prévio.



A caracterização da CBC mostrou claramente que ela pode ser usada como substituta da areia, uma vez que apresenta mesma granulometria, massa específica e é um resíduos não-perigoso. Vale lembrar que as características da cinza dependem do tempo de queima, condições de transporte e por isso é importante que sejam realizadas as devidas caracterizações antes da utilização deste resíduo.

3.2 PROPRIEDADES DOS PAVERS – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados ensaios de resistência à compressão dos pavers fabricados com diferentes consumos de cimento, tanto com como sem CBC, foram tabulados e constam do Figura 03.

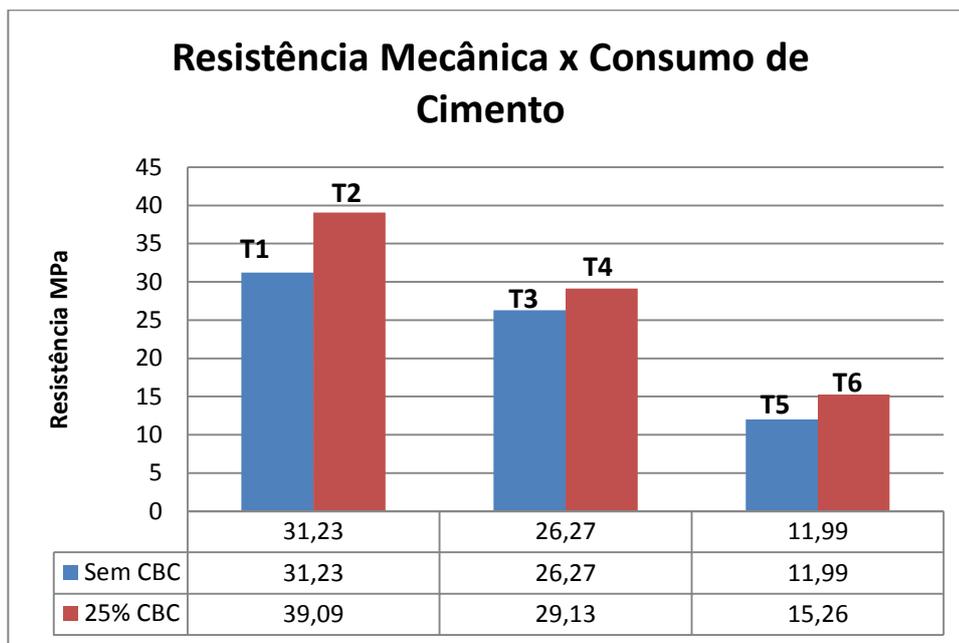


Figura 03: Resistência Mecânica x Consumo de Cimento

Fonte: dados da pesquisa

Os resultados indicam os pavers confeccionados com CBC apresentam um aumento significativo na resistência à compressão, nos três traços estudados, vale ressaltar que nestes traços o teor de substituição é de 25%. Para o traço rico (T2), com consumo de 437 kg de cimento por m³ de concreto, aumento da resistência à compressão, é de 25,17% quando o teor de substituição é de 25 atingindo 39,09 MPa, valor superior ao exigido pela norma ABNT NBR 9781:2013 que exige 35 MPa para vias onde trafegam veículos comerciais de linha.

Os valores de resistência obtidos através da substituição parcial da areia por CBC condizem com os resultados obtidos para pesquisas realizadas com concretos plásticos, que afirmam que a substituição de até 20% de areia por CBC contribui para o aumento de resistência dos concretos. Porém nesta pesquisa os resultados apontam para um aumento de resistência com até 25% de substituição.

A resistência á compressão foi o fator utilizado como parâmetro na comparação entre os traços referência e os traços com CBC, inicialmente pode ser observado o ganho de resistência nos três traços com CBC em comparação ao traço sem CBC, este ganho de resistência variou em cada um do traços. Os resultados obtidos para os traços com menor consumo de cimento e com teor de substituição de 25% de areia por CBC apresentam o mesmo comportamento, sendo de 26,77% para o traço com consumo de 300 kg/cm³ e de 10,89% para o traço com consumo de 350 kg/cm³. A resistência à compressão obtida é inferior ao determinado pela ABNT NBR 9781:2013, porém atingiu índices, que segundo diversos pesquisadores, indicados para a aplicação em locais sujeitos a solicitações leves (FIORITI, 2007).

Um dado importante a ser ressaltado é que o traço T4 confeccionado com um consumo de cimento de 350 kg/m³ alcançou resistência à compressão de 29,13 MPa, valor muito próximo do traço T1, com consumo de cimento de 427 kg/m³ e resistência de 31,23 MPa. Isto representa uma redução de 77 kg/m³ de concreto fabricado, sem maiores comprometimentos quanto à questão da resistência. Estes dados mostram que a substituição de agregado miúdo por CBC pode contribuir para redução no consumo de cimento na confecção de concretos e argamassas, podendo assim, reduzir o impacto ambiental causado pela indústria do cimenteira.

Os resultados apresentados estão ligados diretamente ao efeito filler que a CBC confere à mistura. Além do mais as amostras CBC apresentam teores de sílica amorfa que contribuem com o aumento de resistência à



compressão, isto é, as CBC possuem alguma atividade pozolânica como mostrado no ensaio de atividade pozolânica, realizado pelo IPT para as amostras

4 CONCLUSÃO

A CBC mostrou-se um substituto viável ao agregado miúdo no teor de 25% na fabricação de pavers, apresentado aumento significativo na resistência à compressão dos traços confeccionados. Quanto à redução do consumo de cimento pode-se afirmar que a utilização da CBC na confecção de concretos contribui neste quesito, de acordo com os resultados obtidos, já que esta aumenta a resistência à compressão do concreto, quando utilizada em substituição do agregado miúdo, e conseqüentemente leva a uma redução da quantidade de cimento necessária para atingir as resistências requeridas.

Do ponto de ambiental a utilização deste resíduo contribui para a redução da extração de recursos naturais e também promove uma destinação adequada dos mesmos. No que se refere a CBC esta também pode contribuir para a redução do consumo do cimento na confecção de pavers que hoje, visando atender às resistências exigidas pela norma, são fabricados com traços muito ricos em cimento. Vale lembrar que mais estudos devem ser realizados, além de estudar mais características como absorção e abrasão.

REFERÊNCIAS

ALTOÉ, S. P. S. **Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção blocos de concreto para pavimentação.** 176f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2011.

AMADEI, I. B. A. **Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR.** 153 f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:** Rochas e Solo. Rio de Janeiro, 1995.

_____ **NBR 6508:** Massa específica dos Sólidos. Rio de Janeiro, 1984.

_____ **NBR 7181:** Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____ **NBR 9780:** Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

_____ **NBR 9781:** Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 2013.

_____ **NBR 10004** Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 10005:** Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 10006:** Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 03 de Ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 27 Jun. 2011.

CHAUHAN, M. K.; CHAUDAHARY, V. S.; SAMAR, S. K. Evaluation of the life cycle of the sugar industry: A Review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2011, p. 3445-3453. Disponível em: <<<http://www.elsevier.com/locate/rensusene>>. 2011. Acesso em 15 Jul. 2011



CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K. Use of bagasse ash as pozzolanic material in concrete. **Building Materials and Construction**, v.23, 2009, P 3352-3358. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/bulmatcont>>. 2009. Acesso em 15 Jul. 2011.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de Cana-de-Açúcar 2012/2012 – Segundo Levantamento**. 2011. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf Acesso em: 16 Ago. 2012.

CORDEIRO, G.C; TOLEDO FILHO, R.D.; FAIRBAIRN, E.M.R Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugarcane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v.23, 2009. P 3301-3303. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/conbuimat>>. 2009. Acesso em 13 Jul. 2011.

CORDEIRO, G. C. *et al.* Pozzolanic activity na filler effect of sugarcane bagasse ash in Portland cement na lime mortars. **Cement & Concrete Composites**. 2008. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2008. Acesso em 5 mai. 2011.

CORDEIRO *et al.* Replacement of cement by bagasse ash cane sugar: CO₂ and the potential for reducing emissions of carbon credits. **Journal of Environmental Management**, 91, 2010 p 1864-1871. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/jorenvman>>.2010. Acesso em 15 Jul. 2011.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement & Concrete Composites**, 29, 2007, p. 515–524. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2007. Acesso em 15 Jul. 2011.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo:Pini/Senai, 1992, 313p.

LIMA, S.A.; SALES, A.; SANTOS, T. J. Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando o seu uso em argamassas e concretos como substituto do agregado miúdo. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 51, 2009. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2010. INBRACON: CD-ROM.

MARTINS, C.H.; MACHADO, P.H.T. Estudo da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar em argamassas em concretos. In: ECMEC 2010 – Encontro Nacional de Materiais de Estruturas Compositas, 2010, Porto. **Anais...** ECMEC, 2010. Editora da Universidade do Porto, 2010. 1 CD-ROM.

METHA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. São Paulo. IBRACON, 2006, 3º Edição.

NUNES, I.H.S. **Estudos das características físicas e químicas da cinza do bagaço da cana-de-açúcar para uso na construção**. 2009. 67 f. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2009.

SOUZA, G.N.; FORMAGINI, S; CUSTODIO, 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 do Concreto, 49, 2007. INBRACON **Anais...**, Bento Gonçalves. CD- ROM.