

CARACTERIZAÇÃO DA CINZA LEVE DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR E O ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA

Liri Yoko Cruz Prieto Hojo¹

Ewerton Guelssi²

Carlos Humberto Martins³

RESUMO

Este trabalho visa analisar as características físicas e químicas e a atividade pozolânica da cinza leve do bagaço de cana de açúcar para que esta possa substituir parcialmente o cimento Portland. A reciclagem da cinza será benéfica tanto para a indústria, que tem dificuldades em estocar e dispor adequadamente este resíduo, quanto para o meio ambiente que não receberá esse passivo de contaminação e reduzirá a extração de matéria prima. Os resultados da caracterização apresentaram uma distribuição granulométrica uniforme e bem graduada, os principais elementos que compõem a cinza são o SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 que representam 77,7% em massa e o DRX da CBC indicou a presença de sílica na fase amorfa, o que classifica esse material com propriedade reativa. O resultado da determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado pelo Método de Chapelle modificado foi superior ao limite mínimo estabelecido pela NBR 15895:2010. Portanto, é possível concluir que a CBC tem atividade pozolânica e pode substituir parcialmente o cimento Portland em argamassas e concretos.

Palavras-chave: cinza leve do bagaço de cana de açúcar, atividade pozolânica, cimento Portland.

¹ Mestranda, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana-PEU, liriprieto@gmail.com

² Graduando, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, ra61942@uem.br

³ Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, chmartins@uem.br

1. INTRODUÇÃO

A crise energética mundial, principalmente relacionada aos combustíveis fósseis, tem estimulado a humanidade a buscar fontes alternativas de energias renováveis; como a produção de combustíveis de origem vegetal. Dentre eles, o etanol produzido a partir da cana de açúcar é atualmente um dos principais produtos para solucionar esse problema (LIBERATI, MACHADO, MARTINS, 2011).

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo, sendo sua produção destinada para açúcar e etanol. E, as indústrias desse segmento desenvolveram uma nova forma de gerar energia elétrica através da queima do bagaço de cana, gerando eletricidade suficiente para suprir a demanda da usina.

A indústria sucroalcooleira, também é responsável por gerar os subprodutos, sendo os principais: a vinhaça, a torta de filtro, o bagaço e a cinza. Segundo Cordeiro (2006), para cada tonelada de cana de açúcar são gerados cerca de 250 quilos (25%) de bagaço, que, quando queimado nas caldeiras produz aproximadamente 6 quilos (2,4%) de cinza que contém 77% de areia de quartzo e pó de carvão.

O processo de queima do bagaço nas caldeiras é responsável por gerar dois tipos de cinza, uma proveniente do fundo das caldeiras (cinza pesada) e outra do lavador de gases acoplado à chaminé (cinza leve). No caso, a cinza utilizada para o estudo é proveniente do lavador de gases.

A partir desses dados, é possível estimar que a indústria sucroalcooleira é responsável por gerar 3,61 milhões de toneladas de cinza de bagaço de cana de açúcar (CBC), um volume significativo de resíduos, devido a sua alta produção. E, quando dispostos incorretamente no meio ambiente, podem contaminar o solo, as águas superficiais e subterrâneas, e também diminuir a vida útil dos aterros.

A Lei nº 12.305:2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi criada para a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada. Esses objetivos da legislação estimulam e obrigam as indústrias a adotar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, fazer a destinação correta dos rejeitos e desenvolver tecnologias para reutilizar, reciclar e/ou tratar esses resíduos.

A aplicação desta Lei pode ser exemplificada por meio da seguinte citação, segundo Martins, Machado, Altoé (2011), uma das possíveis soluções para reduzir a poluição gerada na produção dos materiais de construção é a incorporação da CBC em substituição ao agregado miúdo (areia) e/ou ao cimento Portland utilizado na fabricação de concretos de cimento Portland Portland. A reciclagem da cinza é benéfica tanto para a indústria quanto para o meio ambiente, uma vez que, as usinas, ao fornecerem as cinzas, solucionam o problema da estocagem desse subproduto que ocupa grande espaço no pátio e o problema da disposição em locais inadequados; e, o meio ambiente também é favorecido, pois não receberá esse resíduo e reduzirá o consumo de matéria prima utilizada na fabricação do cimento Portland.

A reciclagem de resíduos tem sido aplicada com sucesso no setor da construção civil, diversos resíduos são utilizados na fabricação de argamassas, concretos, blocos cerâmicos e pavers. Este trabalho busca caracterizar e analisar a atividade pozolânica da cinza leve do bagaço de cana de açúcar de uma usina de cogeração de energia elétrica da região de Maringá - PR, para determinar a possibilidade ou não da sua aplicação na substituição parcial do cimento Portland.

Segundo Cordeiro, Toledo Filho e Fairbairn (2010) os avanços tecnológicos e a necessidade de ampliação do parque de geração de energia elétrica do setor sucroalcooleiro, valorizaram o bagaço como fonte primária de energia que, além de atender a demanda energética das usinas também gera um excedente passível de ser comercializado.

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo e sua área de plantio continua em expansão. Segundo fontes da CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2013), a previsão

do total de cana na safra 2013/14 é de 653,81 milhões de toneladas, com aumento de 11,0%, com relação à safra 2012/2013, que foi de 588,92 milhões de toneladas, significando que a quantidade que será moída deve ser 64,89 milhões de toneladas a mais que na safra anterior. O Estado Paraná é o quarto maior produtor com 6,93% (621,020 mil hectares), perdendo apenas para São Paulo (55,18%), Minas Gerais (9,38%) e Goiás (9,47%).

Logo, o bagaço de cana de açúcar é gerado em grandes quantidades e a cinza normalmente é disposta em locais inadequados e de forma indiscriminada, sem realizar um estudo prévio dos possíveis riscos para o ambiente receptor desse resíduo.

Como o crescimento da construção civil gera um aumento no consumo de matéria-prima e conseqüentemente de cimento Portland, o projeto visa estudar suas características e a atividade pozolânica para analisar a possibilidade de substituição parcial do aglomerante. Segundo dados da SINIC 2012 (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento Portland) em 2011 o Brasil produziu 64,092 milhões de toneladas de cimento Portland. A fabricação de uma tonelada de clínquer de cimento Portland lança uma tonelada de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Desta forma, a produção anual mundial de cimento de 1,5 bilhão de toneladas representaria cerca de 7% das emissões globais de CO₂ (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Enfim, como há estudos que comprovaram a pozolanicidade da CBC, o presente estudo visa caracterizar e analisar a CBC leve da região de Maringá, para que esta possa substituir parcialmente o cimento Portland, ou seja, reciclar o resíduo agroindustrial e assim, evitar sua destinação incorreta e reduzir o consumo de matéria-prima na fabricação do cimento Portland, uma vez que, a geração de cinza brasileira representaria 5,63% da produção nacional de cimento Portland no Brasil.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Metodologia

Os métodos empregados para o desenvolvimento do projeto abrangem as caracterizações físicas, químicas e o índice de atividade pozolânica. O material de estudo foi coletado no tanque de decantação (figura 1), e, para armazená-lo foi necessário colocar a CBC previamente em estufa a 110 °C por dois dias para não comprometer a estocagem da amostra.



Figura 1 – Lagoa de decantação da cinza leve

A CBC leve foi fornecida por uma indústria de co-geração de energia elétrica, ou seja, ela compra o bagaço de indústrias sucroalcooleiras para produzir sua própria energia. Na Figura 2 mostra-se o processo simplificado de obtenção da cinza.

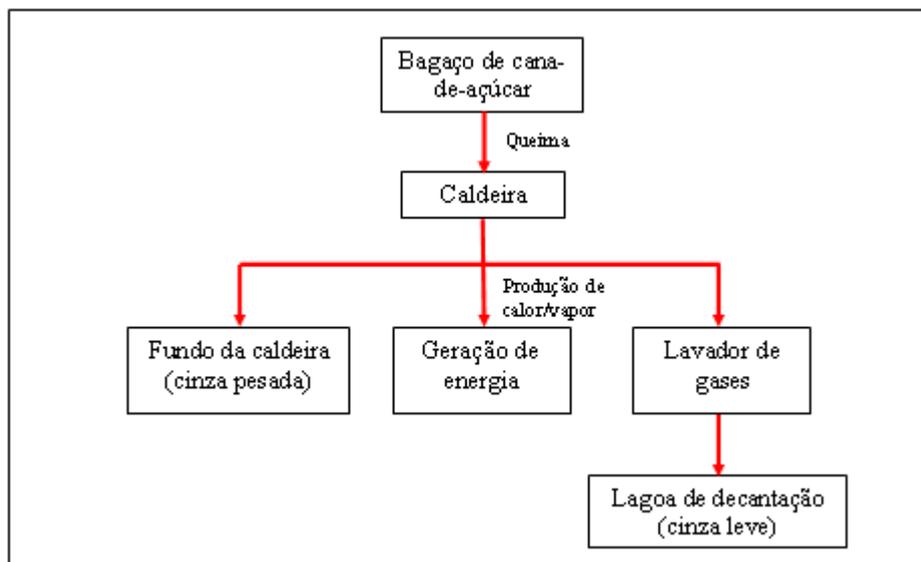


Figura 2 – Fluxograma da obtenção da cinza leve

2.1.1. Caracterização física da CBC

- Análise granulométrica segundo a ABNT NBR 7181:1984 “Solo – Análise granulométrica”, por meio de sedimentação e peneiramento;
- Massa específica segundo ABNT NBR NM 23:2001 “Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica”;
- Teor de umidade segundo ABNT NBR NM 24:2003 “Materiais pozolânicos – Determinação do teor de umidade”.

2.1.2. Caracterização química

- Ensaio de perda ao fogo segundo ABNT NBR NM 18:2012 “Cimento Portland – Análise química – Determinação de perda ao fogo”
- Ensaio de pH segundo a ABNT NBR 10005:2004 “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos”;
- Fluorescência de Raios-X para identificar a presença de óxidos na amostra realizada pelo Laboratório Multiusuários do CNPQ da Universidade Federal do Ceará (UFC);
- Difração de Raios-X que permite determinar a composição dos elementos da amostra realizada pela UFC.

2.1.3. Índice de atividade pozolânica

O índice de atividade pozolânica foi determinado segundo a ABNT NBR 15895:2010 “Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado”, realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil/ CT – Obras, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Os ensaios de caracterização física e química foram realizados segundo as determinações da ABNT NBR 12653:2012 “Materiais pozolânicos – requisitos”, que estabelece as normas para cada um dos ensaios.

2.2. Resultados e discussões

A amostra de cinza de bagaço de cana de açúcar foi coletada de uma usina de cogeração de energia na região de Maringá-PR, esta foi queimada a 800°C.

2.2.1 Caracterização física da CBC

O ensaio de granulometria foi realizado segundo com a ABNT NBR 7181:1984 e a curva granulométrica é ilustrada na Figura 3.

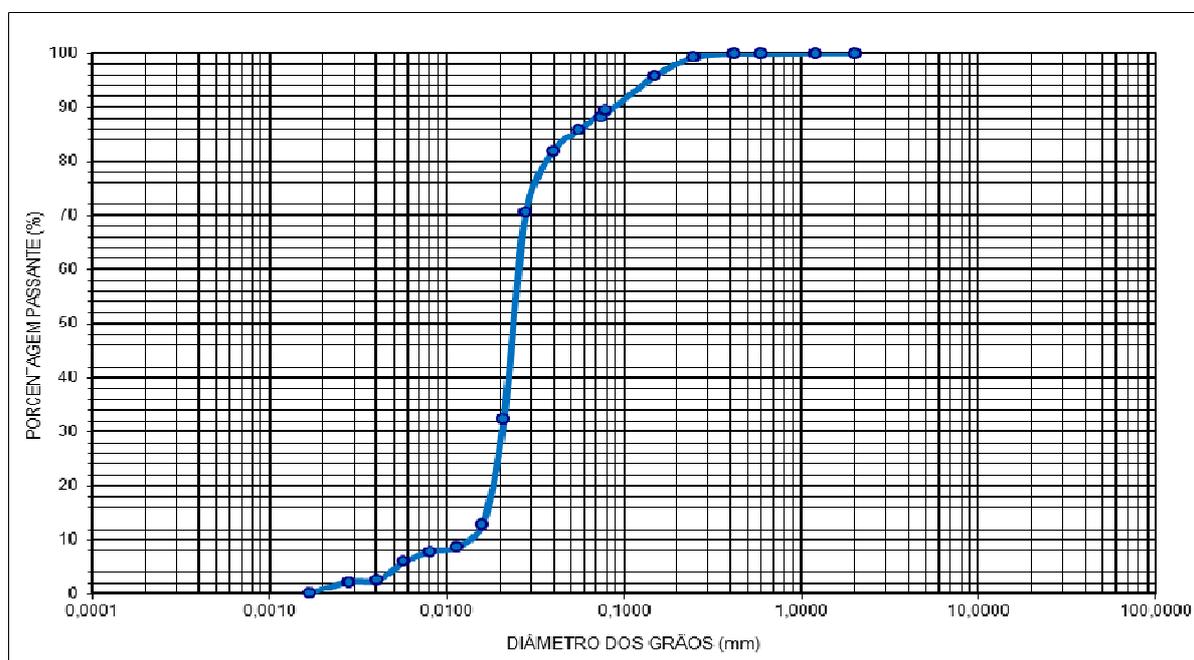


Figura 3 – Curva granulométrica da CBC

A análise do gráfico e dos resultados do coeficiente de uniformidade e curvatura obtidos durante no ensaio permitem verificar que mais de 50%, ou seja, 85,53% da amostra ficou retida nas peneiras de 0,002 a 0,06 mm, e segundo a classificação da NBR 6502:1995 são semelhantes ao silte. A amostra apresentou valores de uniformidade (U) próximos a 1 indicando uma curva granulométrica quase vertical, com pouca variação do diâmetro das partículas, o que indicou uma amostra “muito uniforme”.

- A granulometria da amostra pode ser classificada como “bem graduada”, pois apresentou o coeficiente de curvatura próximo a 1. Esse valor indica que na distribuição granulométrica os espaços deixados pelas partículas maiores são ocupados pelas menores.
- Massa específica

O ensaio para determinação da massa específica foi realizado segundo a ABNT NBR NM 23:2001, o resultado do ensaio foi de 2,49 g/cm³, semelhante à massa específica do hidróxido de cálcio.

- Teor de umidade

O ensaio de teor de umidade foi realizado segundo a ABNT NBR NM 24:2003 e o valor obtido foi de 2,12% de umidade. Este valor está abaixo do limite máximo de 3% estabelecido pela NBR 12653:2012.

2.2.2. Caracterização química

- Perda ao fogo

O ensaio foi realizado segundo a ABNT NBR NM18:2012 e o resultado foi 13,69%. As Figuras 4a, 4b e 4c ilustram as etapas do experimento.



Figura 4 – a) Amostra antes do ensaio

b) Mufla

c) Amostra depois do ensaio

Este ensaio é utilizado para determinar a quantidade de carbono presente na amostra. A NBR 12653:2012 estabelece um limite máximo de 10% para materiais pozolânicos. Segundo Cordeiro (2006), altos valores de perda ao fogo implicam na redução da quantidade de sílica e maior demanda de água, o que alteraria as propriedades reológicas do concreto. O valor de perda ao fogo da CBC ultrapassou um pouco o limite estabelecido. A análise das amostra permite afirmar que a coloração escura da CBC antes do ensaio, indicam um processo de combustão incompleta do bagaço de cana.

- Ensaio de pH

O pH foi determinado de acordo com a ABNT NBR 10005:2004 e foi obtido um pH de 8,04.

- Fluorescência de Raios-X

Os resultados do ensaio de FRX são apresentados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – FRX: porcentagem em massa dos óxidos presentes na CBC

Óxidos	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	SrO	Rh ₂ O ₃
% massa	6,54	34,85	1,16	0,54	0,49	6,11	5,97	6,37	0,93	36,29	0,11	0,09	0,06	0,47

A análise da tabela indica que as porcentagens mais representativas foram dos óxidos SiO₂ (34,85%), Fe₂O₃ (36,29%) e o Al₂O₃ (6,54%), totalizando 77,7%, maior que o mínimo estabelecido pela NBR 122653:2012 de 50%. As altas quantidades de sílica e óxido férrico podem estar relacionadas ao solo de cultivo da cana de açúcar.

- Difração de Raios-X:

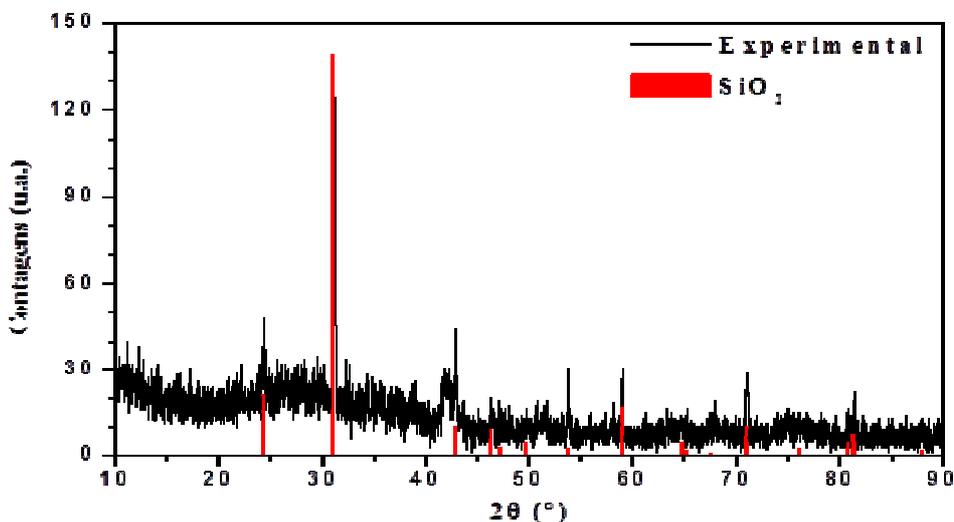


Figura 5 – Difratograma da cinza leve

A análise do DRX permite afirmar que foi identificado somente a fase SiO₂ (quartzo), de estrutura cristalina hexagonal. E, também é notada a presença da fase amorfa devido a um sensível desvio da linha de base. Esta fase amorfa pode estar relacionada alguma propriedade de reatividade da amostra.

2.2.3. Índice de atividade pozolânica

O índice de atividade pozolânica foi realizado segundo a ABNT NBR 15895:2010 no IPT e o valor obtido foi de 480 mg Ca(OH)₂/g amostra.

Este resultado foi maior que o valor mínimo exigido pela norma de 436 mg Ca(OH)₂/g amostra, portanto, este ensaio permite afirmar que a CBC tem atividade pozolânica.

3. CONCLUSÃO

Os ensaios de caracterização física indicam que a CBC possui uma distribuição granulométrica muito uniforme, bem graduada e pode ser comprada ao silte, devido ao tamanho das partículas.

As análises químicas indicam que a combustão do bagaço a 800°C foi incompleta devido à cor, o resultado da perda ao fogo ultrapassou um pouco o limite da norma, a CBC é um resíduo com pH básico, os principais elementos que compõem a cinza são o SiO₂ e o Fe₂O₃, que representam 71% em massa e o DRX da CBC indicou a presença de sílica na fase amorfa, o que indica uma propriedade reativa.

O resultado da determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado pelo Método de Chappelle modificado de 480 mg Ca(OH)₂/g amostra indica que a cinza leve possui atividade pozolânica.

Este resultado indica que é possível utilizar a CBC como um substituinte parcial do cimento Portland, logo, a incorporação de um resíduo industrial na construção civil, irá funcionar tanto como uma alternativa para a redução do consumo de materiais na fabricação do clínquer quanto para evitar a poluição gerada na produção do cimento Portland e na destinação incorreta da CBC, uma vez que essa substituição também pode ser considerada como uma forma de tratamento para o resíduo.

Em síntese, conclui-se que a cinza leve do bagaço de cana pode substituir parcialmente o cimento Portland em argamassas e concretos, pois este material apresentou um elevado índice de pozolanicidade, mas é necessário desenvolver mais estudos para testar as substituições e a sua aplicação comercial.

AGRADECIMENTO PORTLANDS

À agência de fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

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

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15895**: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chappelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 18**: Cimento Portland – Análise química – Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 24**: Materiais pozolânicos – determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 28 ago. 2012.

CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira. Companhia Nacional de Abastecimento Portland**, 2013. Apresenta informações sobre a safra da cana de açúcar 2013/2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_29_31_boletim_cana_portugues_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2013.

CONTRERAS, A. M; ROSA, E.; PÉREZ, M.; LANGENHOVE, H. V.; DEWFUL, J. **Journal of cleaner production**, v.17, n.8, p.772-779, nov. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652608003004>>. Acesso em: 22 jul. 2012.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D. e FAIRBAIRN, E. M. R. Ultrafine sugar cana bagasse ash: high potential pozzolanic material for tropical countries. **Revista IBRACON de estruturas e materiais**, v. 3, n. 1, p. 50-67, mar. 2010.

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 Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

LIBERATI, Elyson Andrew Pozo, MACHADO, Pedro Henrique de Toledo; MARTINS, Carlos Humberto. Resistência mecânica de concretos com substituição parcial de cimento por cinza de bagaço de cana de açúcar. In: ENTECA - ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 8, 2011, Maringá. **Anais**. Maringá: UEM - Universidade Estadual de Maringá, 2011. CD-ROM.

MARTINS, Carlos Humberto; MACHADO, Pedro Henrique de Toledo; ALTOÉ, Silvia Paula Sossai. Produção de corpos de prova de concreto com cinza do bagaço de cana de açúcar. In: ENTECA - ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, 8, 2011, Maringá. **Anais**. Maringá: UEM - Universidade Estadual de Maringá, 2011. CD-ROM

METHA, P. K., MONTEIRO, P.J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: Editora PINI, 2008.

SINIC. Produção de cimento no Brasil. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento Portland, 2012. Disponível em: < <http://www.sinic.org.br>>. Acesso em: 03 jan. 2013.