

**Incorporação da cinza do bagaço de cana-de-açúcar sem moagem no concreto em diferentes dosagens**

José Gabriel Vieira Neto<sup>1</sup>, Angelo Rafael Orioli dos Santos<sup>1</sup>, Carlos Henrique Wachholz de Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Campus Cidade Gaúcha – PR.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Campus Jandaia do Sul – PR.

E-mail autor correspondente: zeh.gvn@hotmail.com

Artigo enviado em 31/09/2017, aceito em 02/09/2018.

**Resumo:** No processo de queima do bagaço da cana-de-açúcar, ocorre a geração de cinzas, que posteriormente são alocadas em grandes pátios. A destinação correta deste resíduo é de grande importância ambiental. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) é composta predominantemente de dióxido de silício, no qual devido as suas características físico-químicas, proporciona ao material uma atividade pozolânica. Dessa forma, surge a hipótese de que possa ser utilizada como matéria-prima na substituição parcial do cimento Portland para a produção de argamassas e concretos. O presente estudo teve por objetivo avaliar as características do concreto em um traço definido com adição de CBCA substituindo parcialmente o cimento Portland em diferentes dosagens. Foram realizados ensaios sem adição e com substituição de 10, 20 e 50% de massa de cimento por CBCA. Os resultados indicaram que a resistência à compressão simples é diretamente alterada quando comparados os tratamentos com as diferentes dosagens. As substituições de 10 e 20% da massa de cimento por CBCA, apresentaram valores de resistência a compressão simples acima de 14 MPa, sendo estatisticamente iguais, indicando-se assim o uso da maior porcentagem. Assim, concluiu-se que existe viabilidade técnica para substituição de cimento por CBCA no concreto.

**Palavras-chave:** resistência à compressão; concreto ecológico; cimento Portland.

**Incorporation of sugarcane bagasse ash without milling in concrete in different dosages**

**Abstract:** In the burning process of sugarcane bagasse, the creation of ashes occurs, which are later allocated in large courtyards. The correct destination of this residue is of great environmental importance. Sugarcane bagasse ash (SCBA) is predominantly composed of silicon dioxide, that due to their physical-chemical characteristics provide pozzolanic properties to the material. Thus, it is hypothesized that it can be used as a raw material in the partial replacement of Portland cement for the mortars and concretes production. The present study aimed to evaluate the concrete characteristics with addition of SCBA in partial replacement of Portland cement in different dosages. Tests were carried out without addition and with replacement of 10, 20 and 50% of cement mass by

SCBA. The results indicate that the resistance to simple compression is modified when the treatments with different dosages are compared. The 10 and 20% replacement of the cement mass by SCBA, presented resistance values to compression above 14 MPa, being statistically equal, indicating the use of the highest percentage. Therefore, it is concluded that there is technical feasibility for cement replacement by SCBA in concrete.

**Keywords:** compressive strength; ecological concrete; Portland cement.

### Introdução

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, no Brasil houve uma queda na venda de cimento desde o ano de 2015, sendo que a indústria tem operado com apenas 52% da sua capacidade anual de produção, que em sua totalidade pode chegar até 100 milhões de toneladas por ano (ABCP, 2018).

Em anos anteriores ao da queda de venda de cimentos, para suprir a demanda do concreto, houve o crescimento da produção desta matéria, o que levou a um aumento na extração e transformação da matéria-prima. Como consequência disso, houve um acréscimo nas taxas de emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros poluentes (DAVIDOVITS, 1994), produzidos principalmente na fabricação do clínquer, componente do cimento. Segundo Demanboro et al. (2004), para uma tonelada de cimento produzida, são lançadas uma tonelada de CO<sub>2</sub> na atmosfera, correspondente a aproximadamente de 7% da emissão anual total de CO<sub>2</sub>.

Por sua vez, cerca de 90% das emissões de CO<sub>2</sub> geradas na fabricação de cimento ocorrem nos fornos que queimam o clínquer, sendo que por volta de 50% a 70% da massa de clínquer presente no cimento Portland pode ser

substituída por diversos materiais complementares, como por exemplo, as cinzas volantes, pozolanas naturais e cinzas de casca de arroz, isso devido às suas atividades pozolânicas (FRANK, 2008).

Deste modo, as cinzas obtidas em processos agroindustriais apresentam-se como uma alternativa para o uso em concretos, substituindo parcialmente os aglomerantes (CORDEIRO et al., 2010; NUNES et al., 2008).

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA), apresenta em sua composição elementos químicos que também estão presentes no cimento, sendo estes, responsáveis por parte das características cimentantes (NUNES et al., 2008; PAULA et al., 2009). Nunes et al. (2008) caracterizaram a CBCA de diferentes municípios no estado do Paraná, dentre estes, a cinza de Cidade Gaúcha apresentou maior área específica (18120 m<sup>2</sup>/kg), que juntamente com a composição química é responsável pela atividade pozolânica. Entre as cinzas estudadas, as que são geradas em Cidade Gaúcha possuem cerca de, no mínimo, 3,3 vezes mais área específica, e além disso, possui a menor massa específica, sendo de 2570 kg/m<sup>3</sup>.

Neste sentido, este estudo teve por objetivo avaliar o potencial de utilização da CBCA sem moagem prévia como substituição parcial do

cimento Portland na produção de concreto, visando contribuir para a destinação adequada desse resíduo. Além de verificar a influência de diferentes quantidades de CBCA a serem adicionadas na mistura e em relação ao tempo de cura do concreto na sua resistência.

### Material e Métodos

Para o presente estudo a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) foi coletada em uma usina sucroenergética situada em Cidade Gaúcha, no noroeste do estado do Paraná. O material coletado foi previamente peneirado (peneira ABNT nº8), para retirada das impurezas grosseiras advindas do pátio de deposição, não havendo moagem antes da aplicação da cinza.

O traço de referência utilizado para todas as amostras foi o 1:2:3,5:0,6, alusivo a cimento, areia média, brita 2 e relação água por cimento (a/c).

As taxas de CBCA aplicadas foram de 0, 10, 20 e 50% em substituição do cimento Portland (CPII – E 32 Votoran) no traço definido. Cada taxa de CBCA refere-se a um tratamento aplicado, denominados de C1 (0%), C2 (10%), C3 (20%) e C4 (50%). Para cada tratamento foi determinado o abatimento do tronco do cone (*Slump Test*) após a homogeneização das misturas, conforme a ABNT – NM 67 (1998).

Os ensaios para caracterização da resistência à compressão simples das diferentes misturas de concreto foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos (CP's), padronizados pela ABNT – NBR 5738 (2003), com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm. Utilizou-se nos ensaios uma prensa

EMIC, modelo PCE 100D com capacidade de 1 MN. Os ensaios seguiram os procedimentos da ABNT – NBR 5739 (2007), sendo realizados com os diferentes dias de cura, 7 e 28 dias. Anotou-se os valores de resistência após o surgimento de primeira fissura e do rompimento dos CP's.

Por fim, com o objetivo de verificar se houve diferença significativa entre os tratamentos, realizou-se a análise de variância a 5% de significância, para os dados de primeira fissura e de rompimento dos CP's, com um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo 4x2 (quatro tratamentos por dois níveis) considerando modelo fixo. Os quatro tratamentos foram constituídos das diferentes quantidades de adição de CBCA (0, 10, 20 e 50%), com 5 repetições cada, e os dois níveis que consistiram na idade de cura dos CP's (7 e 28 dias). Além disso, foi avaliada a relação entre as taxas de adição de CBCA e a resistência do concreto, por meio de um modelo de regressão linear simples e seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ), tanto para os dados de primeira fissura, quanto para os de rompimento.

## Resultados e Discussão

### Abatimento do tronco do cone (*Slump Test*)

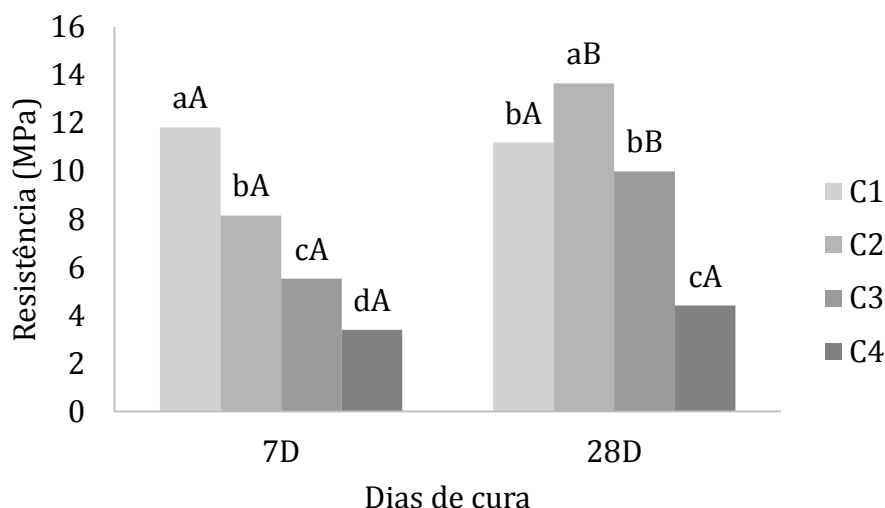
Na análise do *Slump Test*, a adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) no concreto apresentou uma pequena interferência no abatimento do tronco cone, tendo como consequência um concreto com maior

consistência e menor quantidade de grandes poros.

O valor médio obtido de abatimento do tronco do cone foi de 11,6 cm para o tratamento C1, de 11,3 cm para o tratamento C2, de 10,8 cm para C3 e de 10,1 cm para o C4. No geral, os resultados de Nunes et al. (2008) apresentaram os mesmos comportamentos, com valores menores de abatimento em quantidades maiores de CBCA.

Constatou-se nos tratamentos C1, C2 e C3 que a mistura possuiu alta trabalhabilidade, conseqüentemente houve melhor adensamento do concreto e redução de grandes poros, além da resistência à segregação e homogeneidade. No tratamento C4 observou-se maior fragilidade a segregação dos agregados e maior porosidade visível, provavelmente devido às reações químicas da cinza com o cimento.

### Resistência a compressão simples dos corpos-de-prova



**Figura 1.** Resistência média dos corpos-de-prova ao surgimento da primeira fissura na compressão simples. As letras minúsculas comparam os tratamentos (C1, C2, C3, C4) dentro de cada nível (7D – sete dias e 28D – vinte e oito dias de cura), e as letras maiúsculas comparam os tratamentos entre os níveis.

### Resistência ao surgimento da primeira fissura

Ao realizar a análise de variância, verificou-se que as diferentes taxas de CBCA (tratamentos) e os diferentes tempos de cura (níveis), apresentaram diferença significativa a 5% de significância. Como houve interação significativa, foi realizado a comparação de cada tratamento dentro de cada nível pelo teste de Tukey a 5% de significância.

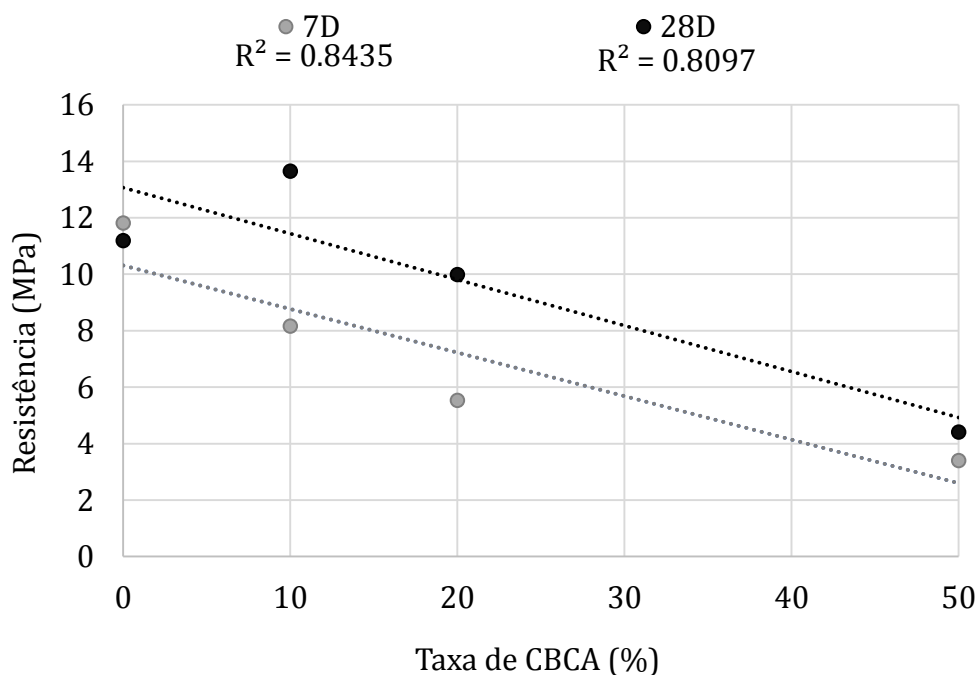
Os valores médios de resistência à compressão axial dos corpos-de-prova quanto ao surgimento das primeiras fissuras podem ser encontrados na Figura 1. Onde observa-se que aos 7 dias de cura (7D), o maior valor de resistência obtido até o surgimento da primeira fissura foi o da mistura C1 (0%), diminuindo gradativamente conforme se aumentou a taxa de CBCA. Sendo todos os tratamentos estatisticamente diferentes entre si.

Já aos 28 dias de cura o tratamento C2 (10%) apresentou maior resistência ao surgimento da primeira fissura, ao invés de C1 (0%). Esta diferença pode ser atribuída às propriedades químicas e pozolânicas da CBCA (CORDEIRO et al., 2008). Além disso, a consistência da mistura pode ter alterado a distribuição dos agregados, tornando a mistura mais homogênea. Conforme destacam Cordeiro et al. (2010), a atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar associada à sua granulometria, contribuem para não ocorrer a redução da resistência oferecida pelo cimento, até determinada dosagem.

Ao comparar os tempos de cura, somente os tratamentos C2 (10%) e C3 (20%) mostraram diferença estatística. Com valores superiores de resistência média ao surgimento da primeira fissura na compressão nos 28 dias de cura.

Nunes et al. (2008), ao estudar as propriedades da CBCA da região de Maringá - PR, verificaram que também houve diferença nos valores de resistência à compressão em corpos-de-prova com diferentes idades de cura, na qual o traço de referência resultou em valores até 31,5% menores do que os tratamentos com adição de cinza.

Ao relacionarmos a resistência com as taxas de adição de CBCA por meio de um ajuste linear para o surgimento da primeira fissura, verifica-se uma relação inversamente proporcional, ou seja, conforme aumenta-se a taxa de CBCA diminui-se a resistência do concreto na compressão simples (Figura 2). Além disso, verifica-se que o percentual da variância dos dados de resistência pode ser satisfatoriamente explicado por essa relação, com coeficientes de determinação acima de 0,80.



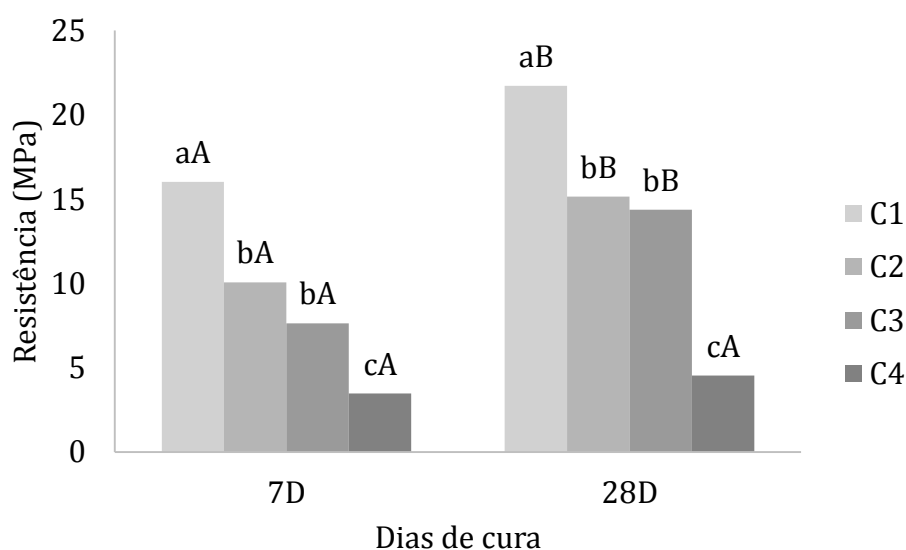
**Figura 2.** Resistência média dos corpos-de-prova ao surgimento da primeira fissura na compressão simples em relação aos tratamentos C1 (0%), C2 (10%), C3 (20%) e C4 (50%).

### Resistência ao rompimento

Ao realizar a análise de variância para os ensaios de resistência à compressão axial, verificou-se diferença estatística a 5% de significância entre as diferentes taxas de CBCA (tratamentos) e entre os diferentes tempos de cura (níveis).

Como houve interação significativa, realizou-se a comparação de cada tratamento dentro de cada nível pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os valores médios de resistência dos corpos-de-prova ao rompimento na compressão axial, podem ser visualizados na Figura 3.



**Figura 3.** Resistência média dos corpos-de-prova para o rompimento. As letras minúsculas comparam os tratamentos (C1, C2, C3, C4) dentro de cada nível (7D e 28D), e as letras maiúsculas comparam os tratamentos entre os níveis.

Neste caso, tanto para os 7 dias quanto para os 28 dias de cura, o maior valor de resistência ao rompimento encontrado foi o do tratamento C1 (0%), diminuído gradativamente conforme aumentou-se a taxa de CBCA. Sendo que os tratamentos C2 (10%) e C3 (20%), mostraram-se estatisticamente iguais.

Estes resultados corroboram com o que descrevem Paula et al. (2010) e Nunes et al. (2008), onde o aumento da taxa de CBCA em substituição do cimento Portland foi inversamente proporcional a resistência a compressão axial. Assemelham-se também aos obtidos por Paula et al. (2009, 2010), que ao

estudarem misturas de CBCA em substituição do cimento Portland em argamassas, concluíram que a adição de até 20% de cinzas não compromete a resistência à compressão. Neste estudo, os autores determinaram a igualdade estatística entre o tratamento de referência (0%) e os tratamentos com adição de 10% e 20% de CBCA.

Conforme Nunes et al. (2008), valores de substituição da CBCA em até 13% proporciona um ganho considerável de resistência, sendo que acima deste valor a tendência é de diminuição da resistência, destacando a taxa de 7% como a melhor substituição. Os autores

destacam que o ganho de resistência logo na idade inicial de sete dias, pode ser explicado devido ao preenchimento do espaço entre as partículas grossas por partículas finas.

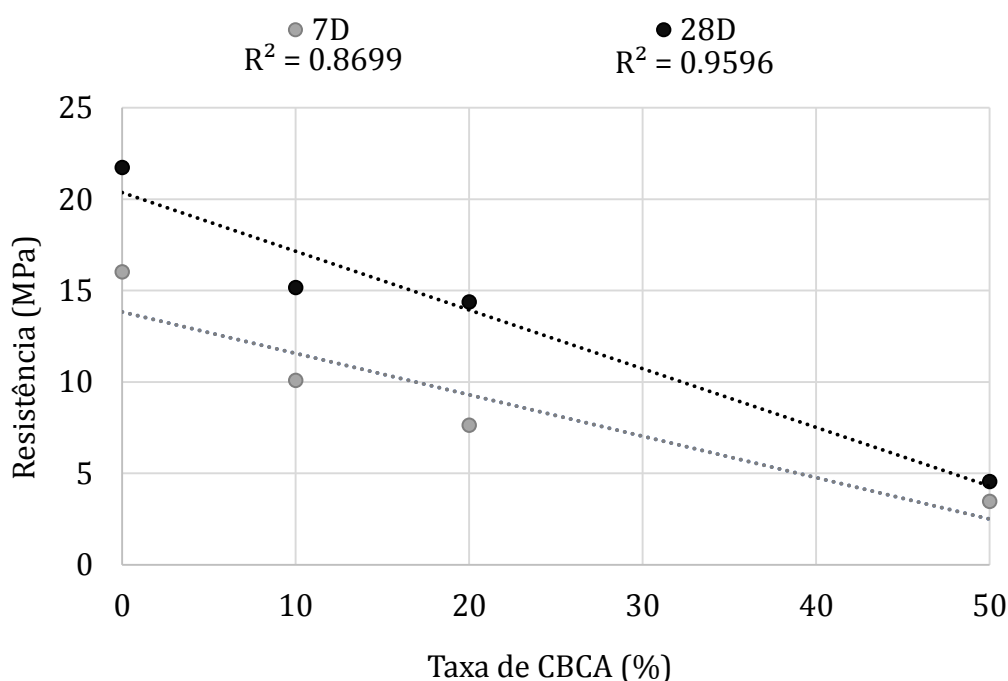
A maior proximidade dos valores médios da resistência a compressão dos CP's com 28 dias de cura é devido a atividade pozolânica da CBCA, que inicia sua atividade entre o 7º e o 15º dia (PAULA et al., 2010). Este fator explica também a pouca variação que houve entre o sétimo e o vigésimo oitavo dia de cura.

Pode-se observar na Figura 3 que apenas o tratamento C4 (50%), manteve-se estatisticamente igual entre os dias de cura, ou seja, a resistência à compressão para o rompimento não foi alterada com 7 e 28 dias de idade. No estudo de Paula et al. (2010), o tratamento correspondente de 30% de

substituição do concreto por CBCA não apresentou diferença estatística ao comparar a resistência a compressão de corpos-de-prova com 7 e 28 dias de cura.

Porém, Cordeiro et al. (2010) relataram o aumento da resistência à compressão, com dosagens de até 20% de substituição do cimento em concretos de alto desempenho, com adição de CBCA ultrafina, quando comparado com um traço de referência sem a presença da cinza. Os autores concluíram no estudo que a presença da cinza pode aumentar a durabilidade do concreto e não altera as suas propriedades mecânicas.

Ao relacionarmos a resistência com as taxas de adição de CBCA para o rompimento, verifica-se também uma relação inversamente proporcional, ou seja, conforme aumenta-se a taxa de CBCA diminui-se a resistência do concreto para o rompimento (Figura 4).



**Figura 4.** Resistência média dos corpos-de-prova para o rompimento na compressão simples em relação aos tratamentos C1 (0%), C2 (10%), C3 (20%) e C4 (50%).

Conforme apresentado na Fig 4., verifica-se que o percentual da variância dos dados de resistência pode ser mais satisfatoriamente explicado para os 28 dias de cura, com coeficientes de determinação acima de 0,95.

Evidencia-se a relação entre quantidade de CBCA e a resistência, sendo que conforme se aumenta a quantidade de cinza, diminui a resistência à compressão, destacando que entre a quantidade de 10% e de 20% de CBCA adicionada, a resistência não varia significativamente.

### Conclusão

Considerando a resistência no traço estudado e a destinação ambientalmente adequada, a CBCA apresentou-se como alternativa técnica viável para substituição parcial do cimento Portland, apesar de não passar por um processo de moagem.

A taxa de até 20% de substituição de CBCA é a recomendada dentre as taxas estudadas, devido a sua melhor relação de cinza adicionada por resistência obtida.

### Referências

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. 2018. Venda de cimento no Brasil deve fechar em queda este ano, setor espera reação em 2019. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/cms/impressao/venda-de-cimento-no-brasil-deve-fechar-em-queda-este-ano-setor-espera-reacao-em-2019/> Acesso em: 20 de outubro de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**. Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndricos ou prismáticos - procedimento. Rio de Janeiro, 6 p., 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 8 p., 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 8 p., 1998.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Cinza ultrafina do bagaço de cana-de-açúcar: material pozolânico de alto potencial para países tropicais. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, Campinas, v. 3, n. 1, p.50-67, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/riem/v3n1/en\\_04.pdf](http://www.scielo.br/pdf/riem/v3n1/en_04.pdf) Acesso em: 15 de agosto de 2016.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement & Concrete Composites**, v.30, p.410-418, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.01.001> Acesso em: 15 de Agosto de 2016.
- DAVIDOVITS, J. Global warming impact on the cement and aggregates industries. **World Resource Review**. v. 6, n. 2, p. 263-278, 1994. Disponível em: <https://www.geopolymer.org/fichier>



[s\\_pdf/5GWPROCE.pdf](#) Acesso em: 12 de novembro de 2016.

DEMANBORO, A. C.; FERRÃO, A. M. A.; MARIOTONI, C. A. **Desafios da construção sustentável sob o enfoque do estoque de recursos naturais.** In: Conferência latino-americana de construção sustentável, 1, Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 10, 2004, São Paulo. Anais. 9 p. Disponível em: [ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC\\_2004/trabalhos/PAP0688d.pdf](ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0688d.pdf) Acesso em: 15 de agosto de 2017.

FRANK, R. Concreto Sustentável. **Téchne.** Pág. 24-28 – Edição 139, 2008.

NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R. D.; SECCHI, M.; ABE, M. A. P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. **Revista Tecnológica,** Maringá, v. 17, p.39-48, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v17i1.8728.g5158> Acesso em: 16 de agosto de 2016

PAULA, M.O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SARAZ, J. A. O. Sugarcane bagasse ash as a partial Portland cement replacement material. **Dyna.** Medellin, v. 77, n. 163, p. 47-54, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n163/a05v77n163.pdf> Acesso em: 18 de agosto de 2016.

PAULA, M.O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**

**Ambiental.** Campina Grande, v. 13, n.3, p 353-357, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000300019> Acesso em: 15 de agosto de 2016.