

Utilização do método de condutividade elétrica para análise da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar**Utilización del método de conductividad eléctrica para analizar la actividad pozolánica de las cenizas de bagazo de caña de azúcar**

DOI:10.34117/bjdv5n9-049

Recebimento dos originais: 19/08/2019

Aceitação para publicação: 09/09/2019

Emerson José da Silva

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco

Instituição: UFPE - CAA

Endereço: Rodovia BR 104, KM 59 – Nova Caruaru – Caruaru- PE – Brasil

E-mail: emerson.josesilva@ufpe.br

Fernanda Wanderley Corrêa Araújo

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo

Instituição: UFRPE

Endereço: Rua Cento e Sessenta e Três, 300 – Empresarial Rio Ave Garapu – Cabo de Santo Agostinho – PE - Brasil

E-mail: fernanda.wca@gmail.com

Leonardo Fagundes Roseback Miranda

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo

Instituição: UFPR

Endereço: Centro Politécnico - Jardim das Américas, Bloco III – Curitiba – PR - Brasil

E-mail: reciclagem.miranda@gmail.com

Antonio Acácio de Melo Neto

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo

Instituição: UFPE

Endereço: Avenida da Arquitetura – Cidade Universitária – Recife – PE – Brasil

E-mail: antoniodemelo@gmail.com

RESUMO

Muitos estudos acerca do aproveitamento de resíduos e sua utilização em matrizes cimentícias têm sido desenvolvidos, se destacando as cinzas agroindustriais por apresentarem propriedades pozolânicas. O bagaço da cana-de-açúcar é um dos subprodutos do processo de produção da cana-de-açúcar, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundial. Neste trabalho foram produzidas cinzas a partir do beneficiamento por queima controlada e peneiramento/moagem da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) proveniente de uma usina do estado de Pernambuco. Parte do material coletado não sofreu tratamento térmico, denominada de CAN, o restante foi dividido em quatro frações de calcinação: 300°C, 400°C, 500°C e 600°C, denominadas CB300, CB400, CB500 e CB600, respectivamente. Após a

queima, cada fração de cinza passou por um processo de peneiramento/moagem e foram submetidas a análise de área superficial específica por blaine. A reatividade das cinzas foram avaliadas por meio do método de condutividade elétrica em solução saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /cinzas. Os resultados por condutividade elétrica indicam tendência de reatividade do material estudado.

Palavras-chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Condutividade elétrica. Pozolana.

ABSTRACT

Se han desarrollado muchos estudios sobre el uso de desechos y su uso en matrices cementosas, destacando las cenizas agroindustriales por tener propiedades puzolánicas. El bagazo de la caña de azúcar es uno de los subproductos del proceso de producción de caña de azúcar, y Brasil es uno de los mayores productores del mundo. En este trabajo, se produjeron cenizas a partir de la quema controlada y el tamizado / molienda de cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) de una planta en el estado de Pernambuco. Parte del material recolectado no fue tratado térmicamente, llamado CAN, el resto se dividió en cuatro fracciones de calcinación: 300 ° C, 400 ° C, 500 ° C y 600 ° C, llamadas CB300, CB400, CB500 y CB600, respectivamente. Después de la quema, cada fracción de cenizas se sometió a un proceso de cribado / molienda y se sometió a un análisis de área superficial específica por blaine. La reactividad de la ceniza se evaluó por el método de conductividad eléctrica en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ / ceniza. Los resultados por conductividad eléctrica indican la tendencia de reactividad del material estudiado.

Palabras clave: ceniza de bagazo de caña de azúcar. Conductividad eléctrica. Pozolana.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Unica (2015) o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool, além de ser o maior exportador mundial de açúcar. O crescente consumo de açúcar dos países emergentes, bem como, o aumento da frota de carros com a tecnologia flex, notoriamente no Brasil e Estados Unidos, estimula o contínuo crescimento da produção nacional de açúcar e etanol. No acumulado da safra de 2013/2014, a produção de açúcar cresceu 10,96%, totalizando 64,478 milhões de toneladas em relação a safra de 2012/2013 (UNICA, 2015). Os estados brasileiros com maior produção de cana-de-açúcar são: Alagoas, Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Pernambuco e Paraná (UNICA, 2015).

Quanto da existência da pozolanicidade na CBCA (Cinza do bagaço de cana-de-açúcar) os autores Cordeiro (2006); Paula (2006); Cordeiro (2009); Nunes (2009); Zardo et al., (2004) relatam que ainda não é definitiva, embora em sua pesquisa Freitas (2005) aponta a atividade pozolânica de amostras de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, já Zardo et al., (2004) revela o contrário mostrando que esse tipo de material atua como *filler*. Portanto, todos os pesquisadores citados apresentam aspectos benéficos do uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, quer seja pelo o efeito *filler* quer seja pelo o efeito pozolânico.

A aplicação do método de condutividade elétrica tem sido amplamente observada por muitos autores, uma vez que se trata de um método útil não só para monitorar a hidratação inicial de aglomerantes, mas também como um avaliador tanto da atividade pozolânica como da reação álcali-agregado, existindo basicamente dois métodos: Um usa soluções ativadoras e o outro uso ativando pó sólido (TASHIRO et al, 1994).

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial pozolânico da cinza do bagaço de cana-de-açúcar do por meio da utilização do método de condutividade elétrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de pozolanas: a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) objeto de estudo e o metacaulim, material pozolânico de referência (MTC), comercializado no mercado do estado de Pernambuco. O metacaulim utilizado, produzida pela empresa Caulim do Nordeste S.A. possui cor alaranjada e uma granulometria fina, possuindo elevadas concentrações de óxidos de sílica, alumínio e ferro.

A CBCA utilizada é proveniente do processo de produção de álcool e açúcar de uma usina localizada no Estado de Pernambuco. A queima do bagaço da cana foi realizada em caldeira a uma temperatura de aproximadamente 300°C, para geração da cinza. A cinza coletada apresenta cor escura e granulometria grosseira, indicando uma cinza com elevado teor de carbono. Para sua homogeneização, a cinza foi seca em estufa a 100°C por 24h e depois passou pela peneira de abertura 4,8mm para retirada de impurezas como restos de folha e galhos, sendo o material retido descartado. O material possui alta concentração de sílica da amostra, superior a 89% da massa da cinza.

É apresentada na Tabela 1 a análise química por fluorescência de raios - X do material passante na # 4,8 mm (*in natura*). O resultado demonstra a alta concentração de sílica da amostra, superior a 89% da massa da cinza.

Tabela 1 - Composição química (% óxidos) e perda ao fogo da CBCA.

Óxidos:	Resultado (%)	Óxidos:	Resultado (%)
CaO	0,7	SiO ₂	89,2
Al ₂ O ₃	2,2	Fe ₂ O ₃	1,7
SO ₃	0,3	MgO	0,3
TiO ₂	0,3	K ₂ O	2,3
P ₂ O ₅	0,7	Cr ₂ O ₃	-
NiO; MnO	-	Perda ao Fogo	2,14
TOTAL		99,84 %	

Fonte: O autor (2016).

Para o ensaio de condutividade elétrica foi utilizado o hidróxido de cálcio - CH (P.A.) da marca *Synth*, com teor mínimo de pureza de 95%.

2.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A CBCA foi preparada para receber dois tipos de tratamento utilizados neste trabalho: a calcinação e o peneiramento/moagem. O material pozolânico de referência (MTC) não sofreu qualquer tipo de tratamento, pois, trata-se de um material adquirido no mercado, portanto, pronto para utilização. Todos os procedimentos adotados no tratamento e preparo da CBCA foram adotados de acordo com o levantamento bibliográfico do tema. A preparação inicial da CBCA consistiu nas seguintes etapas:

- Inicialmente a CBCA foi seca em estufa a 100°C por 24 horas e peneirada na malha de abertura de 4,8 mm para a retirada de materiais contaminantes (pedras, folhas, etc.).
- O material retido deste preparo inicial foi descartado.
- O material passante, foi dividido em cinco frações e seguiu para os tratamentos previstos. Desse preparo inicial foi denominado de cinza do bagaço de cana-de-açúcar “*in natura*” (CAN).

A queima da cinza de cana-de-açúcar a diferentes temperaturas foi objeto de estudo desse trabalho, com o intuito de avaliar qual seria a melhor condição para obtenção de cinza mais reativa. As temperaturas de queima estudadas foram de 300 °C, 400 °C, 500 °C e 600 °C e o resfriamento da mufla foi natural (resfriamento lento). A taxa de aquecimento adotada para a queima foi de 10 °C/min. Ao atingir o valor máximo, o tempo de permanência do material

nessa temperatura foi de 3 horas. Ao término desse período, a mufla foi desligada e aberta, automaticamente se iniciou o processo natural de resfriamento.

As cinzas foram denominadas de acordo com a temperatura máxima de queima, recebendo as seguintes nomenclaturas: CB300 (temperatura máxima de queima foi de 300°C), CB400, CB500 e CB600.

O processo de tratamento de peneiramento / moagem aplicado nas CBCA, teve como objetivo obter quatro patamares de finura do material estudo. Todas as cinzas que tiveram ou não beneficiamento térmico passaram por um processo de peneiramento mecânico.

Para estratificar as amostras, foi definido um número fixo de peneiramentos e intervalos, obedecendo a seguinte configuração: 6 ciclos de peneiramento mecânico de 15 minutos, com intervalo de 5 minutos (esse intervalo foi adotado devido as condições do equipamento, o mesmo não suporta o tempo total de uma hora e trinta minutos ininterrupto de peneiramento) – Totalizando em torno de 2 horas de procedimento.

No fim do peneiramento obtiveram-se as seguintes amostras: as cinzas retidas na peneira de malha 200 (#200), passante na malha 200 e retida na malha 400 (#400) e passante na malha 400 (P400), amostras foram recolhidas e guardadas em potes com as devidas identificações.

A moagem das cinzas foi realizada em um moinho rotativo de bolas da marca Tecnal. Foram utilizadas 71 bolas correspondentes a uma massa de 3000 g como apresentado na tabela 2. A velocidade de rotação foi de 200 RPM e o período de moagem foi de 7 horas. Para a moagem foram utilizados 1,300 Kg de cada uma das amostras de cinza (CAN, CB300, CB400, CB500 e CB600).

Tabela 2 – Relação de bolas de alumina, com diâmetros, massas e volumes utilizadas na moagem das CBCA.

Número de Bolas:	Diâmetro das bolas (mm)	Massa (g)	Volume (mL)
3	20	74,41	100
53	25 a 30	1730,16	1000
15	35	1195,43	900
TOTAL		3000,00	2000

Fonte: O autor (2016).

Desse procedimento obtiveram-se três variações sem moagem, sendo os materiais: retido na peneira de N° 200, retido na de N° 400 e a passante na peneira de N° 400 e uma moída

por 7H. Após o peneiramento e moagem das amostras no moinho de bolas, as mesmas foram encaminhadas para os ensaios previstos.

Definidos todos os tipos de pozolanas e tipos de tratamento, na Tabela 3 é apresentado o quadro resumo das amostras obtidas com os tratamentos previstos.

Tabela 3 – Resumo das amostras produzidas e suas respectivas denominações

AMOSTRAS	DESCRIÇÃO
MTC	Metacaulim - material pozolânico de referência, adquirido no mercado.
CAN#200	CBCA “in natura”, sem moer e retida na peneira N° 200 (0,075 mm).
CAN#400	CBCA “in natura”, sem moer e retida na peneira N° 400.
CANP400	CBCA “in natura”, sem moer e passante na peneira N° 400 (0,038 mm).
CANM7H	CBCA “in natura”, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB300#200	CBCA calcinada a 300°C, RL, sem moer e retida na peneira N° 200.
CB300#400	CBCA calcinada a 300°C, RL, sem moer e retida na peneira N° 400.
CB300P400	CBCA calcinada a 300°C, RL, sem moer e passante na peneira N° 400.
CB300M7H	CBCA calcinada a 300°C, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB400#200	CBCA calcinada a 400°C, RL, sem moer e retida na peneira N° 200.
CB400#400	CBCA calcinada a 400°C, RL, sem moer e retida na peneira N° 400.
CB400P400	CBCA calcinada a 400°C, RL, sem moer e passante na peneira N° 400.
CB400M7H	CBCA calcinada a 400°C, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB500#200	CBCA calcinada a 500°C, RL, sem moer retida na peneira N° 200.
CB500#400	CBCA calcinada a 500°C, RL, sem moer e retida na peneira N° 400.
CB500P400	CBCA calcinada a 500°C, RL, sem moer e passante na peneira N° 400.
CB500M7H	CBCA calcinada a 500°C, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.
CB600#200	CBCA calcinada a 600°C, RL, sem moer retida na peneira N° 200.
CB600#400	CBCA calcinada a 600°C, RL, sem moer e retida na peneira N° 400.
CB600P400	CBCA calcinada a 600°C, RL, sem moer e passante na peneira N° 400.
CB600M7H	CBCA calcinada a 600°C, RL, moída por 7 horas no moinho de bolas.

Fonte: O autor

2.3 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para a análise da condutividade elétrica, foi realizada da medição em uma solução supersaturada de hidróxido de cálcio, água deionizada e cinza.

As medições de condutividade elétrica de solução CH/adiação mineral (LUXÁN, et al., 1989; PAYÁ et al., 2001), seguiram as seguintes etapas:

- Foi colocado 250 ml de água deionizada em becker de vidro graduado e verter no balão volumétrico de fundo chato de três bocas paralelas;
- Foi aquecida a água do balão em cima da base do agitador magnético, sob agitação com velocidade de 900 RPM, até atingir a temperatura de 40°C estipulada no

controlador digital e deixá-la estabilizar;

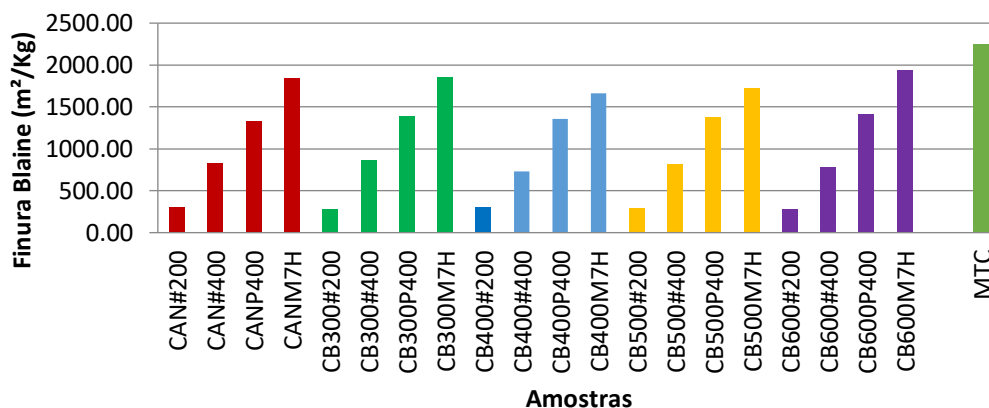
- Pesou-se 450 mg de hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 em balança de precisão (0,0001g);
- Com a água estabilizada a 40 °C adicionou-se 450 mg de Ca(OH)_2 no balão sobre o agitador magnético com aquecimento para se obter uma solução saturada de CH;
- A solução ficou sob agitação durante 1 h para garantir que todo CH seja dissolvido;
- Pesou-se 5,25 g de adição mineral na balança de precisão (0,0001g);
- Após 1 h, com a temperatura da solução 40 °C, iniciou-se a coleta de valores de condutividade elétrica por meio de um condutivímetro elétrico, com um programa de coleta de dados, e a célula de condutividade de aço inox, com leitura de 0,001 $\mu\text{S/cm}$ a 20000 $\mu\text{S/cm}$;
- Colocou-se imediatamente 5,25 g de adição mineral na solução CH/água;
- As informações deste trabalho foram coletadas durante 24 h, por um computador acoplado ao sistema do condutivímetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ÁREA SUPERFICIAL DAS CBCA

Os efeitos dos tratamentos aplicados na CBCA serão abordados neste item no que tange a possível influência nas propriedades quanto à pozolanicidade, como área específica. A figura 1 apresenta a finura blaine dos materiais utilizados neste pesquisa.

Figura 1 – Finura Blaine das CBCA



Fonte: O autor

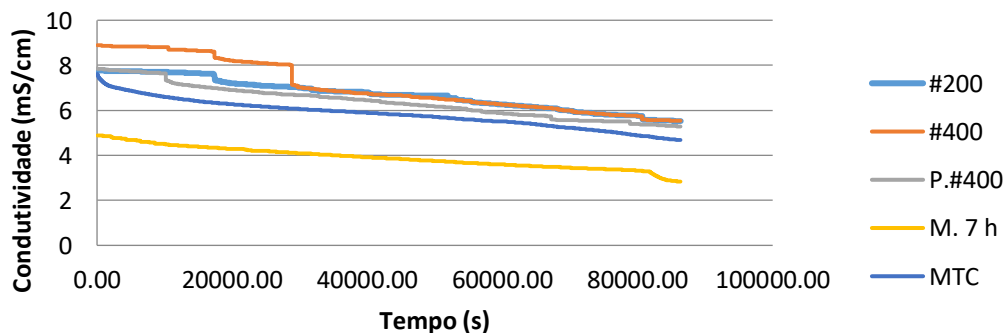
De acordo com os resultados da Figura 1, pode-se afirmar que o peneiramento/moagem foi bem sucedido, uma vez que alcançou quatro níveis de finura Blaine: material retido na peneira #200, retido na peneira #400, passante na peneira #400 e moído por 7 horas.

Um importante parâmetro a ser considerado nas características físicas das cinzas, se dá por meio da avaliação da área específica. Sabe-se que a área específica é um importante parâmetro para a cinética química, e que, quanto maior a área superficial de um material geralmente maior é a taxa de reação química (RODRIGUES, 2012).

3.2 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DAS CBCA POR CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

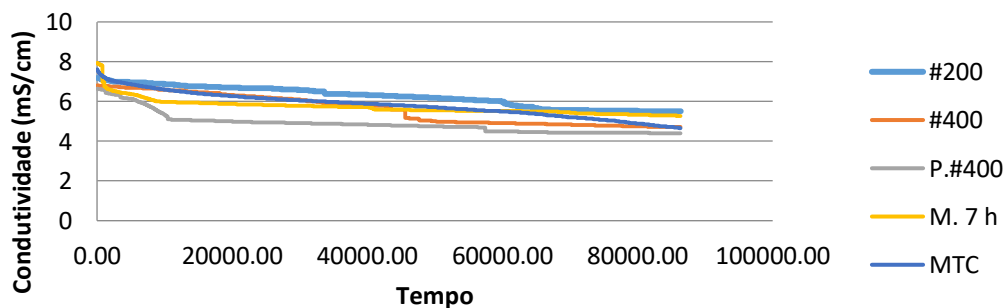
Segundo Rodrigues (2012), com a formação de produtos insolúveis de C-S-H, há dessa forma, uma menor quantidade de íons de Ca^{2+} , acarretando conseqüentemente no decréscimo da condutividade elétrica. As Figuras de 2 a 6 ilustram as curvas de perda de condutividade elétrica do MTC, das CBCA por tratamento de calcinação e por grau de finura, respectivamente.

Figura 2 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CAN



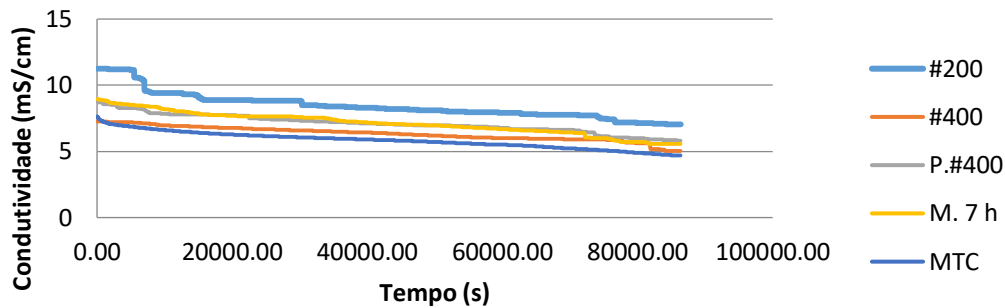
Fonte: O autor

Figura 3 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB300



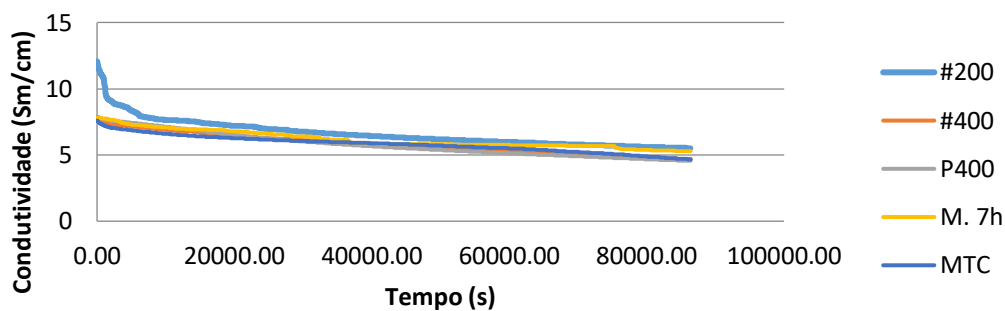
Fonte: O autor

Figura 4 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB400



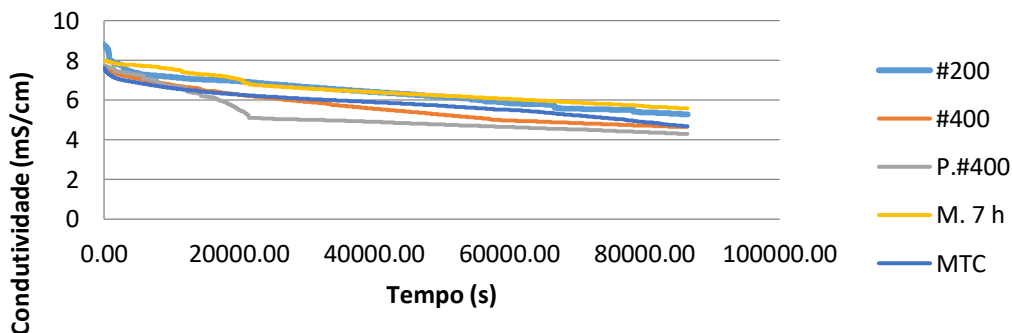
Fonte: O autor

Figura 5 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB500



Fonte: O autor

Figura 6 – Condutividade elétrica versus tempo de CH/CB600



Fonte: O autor

Nos primeiros 120 s, observa-se que a perda de condutividade elétrica das cinzas foi menor, quando comparado aos 10000s, sendo o resultado coerente, haja vista que nesse período inicial as cinzas estão no processo de dissolução. Após 10000 s, todas as soluções CH/Cinza apresentaram os maiores valores de perda de condutividade elétrica, como observado nas Figuras 2 a 6, onde esse comportamento se estende até o final do experimento.

Tanto nos trabalhos de Luxán *et al.* (1989) quanto de Payá *et al.* (2001), os tempos de medição da condutividade elétrica foram respectivamente de apenas 120 s e 10000 s. O

período de análise para as conclusões a respeito do material foram o suficiente. No presente trabalho foi adotada uma análise de 85000 s, visto que as cinzas continuaram perdendo condutividade elétrica mesmo após o período de 10000 s.

Villar Cociña (2005) relata que a possível formação de C-S-H, além de outros produtos de hidratação se dá decorrente a diminuição da condutividade elétrica na solução. De modo geral após o período de 15 h de análise 54000 s, observou-se que a perda de condutividade elétrica aumentou consideravelmente em todas as cinzas estudadas. Os resultados do ensaio de condutividade mostraram que, nas primeiras horas, as soluções de CH/CB300M7H, CH/CB400#200, CH/CB500#200, CH/CB600#200 e CH/CB600P400 tiveram as maiores perdas de condutividade elétrica, indicando uma maior reatividade.

Na Tabela 4, é apresentado a avaliação da atividade pozolânica por medida de condutividade elétrica proposto por Luxán *et al* (1989).

Tabela 4 – Avaliação da atividade pozolânica por medida de condutividade elétrica.

Classificação do material	Varição da condutividade de acordo com o método proposto (mS/cm)
Não pozalâna	Menor que 0,40
Pozolâna variável	Entre 0,4 e 1,2
Boa pozolâna	Maior que 1,2

Fonte: Luxán *et al* (1989).

Pela classificação da Tabela 4, tem-se que todas as cinzas produzidas são classificadas como boa pozolana, porém, vale ressaltar que no presente trabalho foram feitas algumas adequações quanto ao método proposto por Luxán *et al* (1989).

Para a avaliação das cinzas, quando comparadas com a pozolana de referência (MTC), observou-se que as perdas de condutividade são próximas ou superiores, com exceção do CB300#200, mostrando que as cinzas são ao menos reativas.

Ao analisar as curvas das soluções avaliadas constatou-se que não houve estabilização dos dados, sendo necessário, portanto, um tempo maior de avaliação para que se possa obter maiores conclusões acerca das cinzas estudadas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados tanto das propriedades físicas, químicas quanto da microestrutura foram de suma importância para o entendimento da CBCA quanto ao seu potencial pozolânico.

Os diferentes graus de peneiramento/moagem utilizados nesta pesquisa permitiram que a análise distinguisse de forma satisfatória os efeitos da diminuição do tamanho de partículas. Concluindo-se que o efeito da moagem teve impacto positivo na melhoria da atividade pozolânica da CBCA. O efeito da temperatura de calcinação, dentro dos limites deste trabalho, pouco influenciou.

O método da condutividade elétrica se mostrou uma técnica rápida e útil para comparar o grau de reatividade entre as CBCA e o MTC em sistema com hidróxido de cálcio.

A avaliação pozolânica, efetuada por meio da medição da condutividade elétrica em soluções CH/cinzas, mostrou que as cinzas apresentam em sua maioria uma baixa reatividade nas primeiras 3 h, quando comparado com o MTC. Ao final do ensaio em 24 h todas as cinzas em termos de reatividade se equiparam a perda de condutividade da pozolana de referência, corroborando que a reatividade ocorre de forma lenta.

Dessa maneira se faz necessário avaliar a pozolanicidade de cinzas períodos superiores a 24 h, com o intuito de avaliar o tempo necessário para a estabilização da perda da condutividade, bem como a avaliação da cinza em água deionizada, sem hidróxido de cálcio, afim de identificar a influência dos íons gerados pela cinza.

É importante lembrar que, todo os dados apresentados neste trabalho referem-se apenas as amostras coletadas que passaram, ou não, por diferentes tratamentos térmicos e físicos. Para se chegar a dados mais conclusivos, é necessário o aprofundamento deste estudo com ensaios químicos e termogravimétricos. Através destes novos ensaios será possível averiguar o percentual de sílica reativa e CO₂ presente na CBCA analisada apenas por ensaios físicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FACEPE, a CAPES e à PROPESQ, pela concessão de recursos e auxílio de bolsas para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

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

CORDEIRO, L.N. **Análise da variação do índice de amorficidade da cinza da casca do arroz sobre a atividade pozolânica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FREITAS, E. de S. **Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos goytacazes para uso na construção civil**. 2005. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LUXAN, N.P.; XADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement. **Cement and concrete research**, v.19, 1989.

NUNES, I.H.S. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado. PEU/Universidade Estadual de Maringá, 2009.

PAULA, M.O. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2006.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M.V.; MELLADO, A.; ORDONEZ, L.M. Determination of amorphous silica in rice husk ash by a rapid analytical method. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 227-231, 2001

RODRIGUES, M. S. **Avaliação de cinzas de palha de cana-de-açúcar e sua utilização como adição mineral em matrizes cimentícias.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola, Campina, 2012.

TASHIRO, C., IKEDA, K., INOUE, Y. Evaluation of pozzolanic activity by the electric resistance measurement method. **Cement and Concrete Research**, v. 24, p. 1133-1139, 1994.

ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo (2010 - 2015) Disponível na internet: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em novembro 2015.

VILLAR-COCIÑA, E. **Modelos cinéticos para la caracterización de materiales puzolánicos y mezclas de moldeo para fundición de hierro.** 168 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Físicas) – Facultad de Matemática, Física y Computación, Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2005.

ZARDO, A. M.; BEZERRA, E.M.; MARTELLO, L.S.; SAVASTANO Jr., H. Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento. In: I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável/x Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. **Anais.** São Paulo: Entac, 2004. CD-ROM.