



7 e 8 Novembro 2012

ANÁLISE DA POZOLANICIDADE DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR EM DIFERENTES TEMPERATURAS DE QUEIMA

Silvia Paula Sossai Altoé¹

Carlos Humberto Martins²

Jusmar Valentin Bellini³

Fábio Rogério Longen⁴

RESUMO

A busca por materiais alternativos, que poluam menos e diminuam a extração de recursos naturais tem sido um grande desafio para a indústria da construção civil. A reciclagem de resíduos industriais surge como solução para este desafio, e as pesquisas apontam cada vez mais para este caminho, a utilização de resíduos como agregados ou aglomerantes de concretos é alvo de diversas pesquisas, para tanto a análise de diversas características deve ser feita. Este trabalho apresenta os resultados da análise da possível atividade pozolânica da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) produzidas em diferentes temperaturas de queima. A finalidade destes ensaios é a determinação da melhor temperatura de queima do bagaço da cana-de-açúcar, no que diz respeito a pozolanicidade das amostras, já que foram obtidas com temperatura de queima variando de 600°C a 850°C. A investigação foi realizada através dos ensaios de Difração de Raio-X e determinação de atividade pozolânica pelo Método de Chapelle modificado. Os resultados comprovam que o bagaço cana-de-açúcar quando queimado com temperatura controlada, variando de 600°C a 650°C, produz uma cinza com características pozolânicas, podendo ser adicionada ao cimento quando da sua fabricação, como o que ocorre com a escória de aço e a pozolana.

Palavras-chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Pozolanicidade. Caracterização.

¹ Mestrando, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana-PEU, silviasossai@hotmail.com

² Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, chmartins@uem.br

³ Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Física DFI, jvbellini@uem.br

⁴ Doutorando Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-Graduação em Física, longen295@hotmail.com

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).

Uma solução para este problema, apontada por diversos pesquisadores, é a reciclagem de resíduos industriais, segundo John (2000) a primeira e mais visível contribuição da reciclagem é a preservação dos resíduos naturais. Uma vez que se estes forem substituídos por resíduos pode-se afirmar que ocorrerá uma prolongação da vida útil das reservas naturais e uma redução da destruição da paisagem, flora e fauna.

O concreto de cimento Portland é reconhecido como um material verde (compatível com o meio ambiente) com relação aos outros materiais de construção. No entanto, muito precisa ser feito para reduzir o impacto ambiental da indústria do cimento. O cimento Portland, o principal ligante hidráulico usado no concreto moderno, é produto de uma indústria não apenas de uso intensivo de energia (4GJ/t cimento), mas também responsável por grandes emissões de CO₂. A fabricação de uma tonelada de clínquer de cimento Portland lança perto de uma tonelada de CO₂ na atmosfera. A produção anual mundial de cimento 1,5 bilhão de toneladas, principalmente de cimento Portland, é responsável por quase 7% das emissões globais de CO₂ (MEHTA, 1999).

Atualmente, diversos materiais pozolânicos, como cinza volante, sílica ativa, metacaulim e cinza da casca de arroz, são utilizados em substituição parcial ao cimento Portland em pastas, argamassas e concretos. O emprego de pozolanas possibilita a redução de problemas ambientais relacionados ao uso de cimento Portland em concreto, como grande quantidade requerida de matéria-prima natural (argila e calcário) e elevado montante de gases intensificadores do efeito estufa, sobretudo dióxido de carbono, emitidos para a atmosfera durante sua produção.

O objetivo do trabalho é analisar a cinza do bagaço da cana-de-açúcar quanto sua possível atividade pozolânica, o que pode levar este material a ser utilizado como pozolana em adição ao cimento, ou então em concretos como substituição parcial do cimento, contribuindo assim para uma destinação a nível nacional deste sub-produto, além de colaborar para a diminuição do consumo de cimento.

No processo de beneficiamento da cana-de-açúcar o maior subproduto gerado é o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado em larga escala como combustível para as caldeiras para geração de energia que resulta em uma cinza pesada e volante. Se for levado em consideração a safra 2011/2012 com um montante de 588,915 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e que todo o bagaço seria utilizado como fonte de energia seriam, então, produzidas aproximadamente 3,4 milhões de toneladas de cinza. O estado do Paraná é responsável por aproximadamente 7% desta produção, processadas em 30 usinas e destilarias de açúcar e álcool (CONAB, 2011).

A temperatura de queima do bagaço de cana-de-açúcar determina o surgimento de fases amorfas ou cristalina da sílica, para estabelecer as temperaturas ideais de queima, assim como, às faixas de temperatura que determinam a mudança de condição várias pesquisas têm sido feitas.

A substituição de cimento em torno de 20% por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, queimada em temperaturas inferiores a 700°C, em concretos é perfeitamente viável, uma vez que a mesma não apresenta nenhum efeito adverso às propriedades do concreto, além disto, algumas vantagens específicas podem ser enumeradas: o desenvolvimento de alta resistência inicial, redução à permeabilidade da água e uma considerável resistência à permeabilidade e difusão de cloretos. Porcentagens inferiores apresentam um aumento da resistência à compressão em relação ao traço referência, principalmente nas primeiras idades. Este comportamento se deve à presença de sílica amorfa e ao tamanho das partículas da cinza (GANESAN, RAJAGOPAL e THANGAVEL, 2007).

De acordo com Paula (2006) tanto a forma quanto a quantidade da sílica obtida depende da temperatura de combustão e do tempo de queima. Para Mehta (1999) o ideal é que os resíduos agrícolas quando utilizados como queimados devem ter como temperatura oscilando entre 400 e 800°C, evitando assim a formação de cristais de sílica, otimizando assim as propriedades reativas das cinzas obtidas nos processos.

Na pesquisa realizada por Cordeiro (2006) é feita a simulação de queima sob condições controlada, com temperaturas variando de 400°C e 900°C, mostra que de acordo com o aumento da temperatura de queima ocorre uma progressão da cristalinização dos compostos, indo desde fases amorfas até mesmo a picos pronunciados de cristalinização.

Segundo Cordeiro (2006) até 40% do cimento pode ser substituído por CBC (com condições de queima, moagem e granulometria controladas em laboratório) em argamassas sem que ocorram mudanças significativas das propriedades mecânicas, de durabilidade e reológicas.

Cordeiro *et al* (2008) concluíram após seus experimentos que o aumento de resistência em concretos confeccionados com CBC em substituição de agregados ou de cimento se dá pelo efeito filler da cinza e também por sua atividade pozolânica.

De acordo com Cordeiro, Toledo e Fairbairn (2009) que analisaram a CBC para um intervalo de temperaturas de queima de 400°C a 900°C, em laboratório, e concluíram que a CBC obtida com queima controlada a 600°C pode ser utilizada como pozolana, apresentando, nestas condições, atividade pozolânica recomendada pelos requisitos da ABNT NBR 12653:1992. Estes resultados demonstram que a temperatura de calcinação é fator determinante para a obtenção de CBC reativas.

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

Ganesan; Rajagopal e Thangavel (2007), 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 a queima do bagaço da cana-de-açúcar seja realizada de forma controlada e a cinza obtida assa por um processo de moagem adequado. Segundo, Chusilp, Jaturapitakkul e Kiattikomo (2010), 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.

Com o avanço nas pesquisas com a CBC e a comprovação de possibilidade de sua utilização como substituto do agregado miúdo e do cimento, quando processada da forma adequada. Cordeiro *et al.* (2010), analisaram a possibilidade de utilizar a CBC, em caráter industrial, como substituição do cimento e com isto conseguir uma redução na emissões atmosféricas de CO₂ das fábricas de cimento, obtendo-se com isto créditos de carbono. O projeto buscou estimar o potencial de reduções e a viabilidade da obtenção do Certificado de Emissão Reduzida, seguindo para isto a metodologia estabelecida pela Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Foram desenvolvidos algoritmos genéticos que permitiram a otimização dos dados referentes às fábricas de etanol e de cimento do estado de São Paulo. Após as análises, seguindo a metodologia proposta, a redução das emissões estimadas chegou à 519,3kt de CO₂/ano, para esta região do país. As simulações realizadas demonstraram que a CBC misturada ao cimento, em escala industrial, preenche todas as condições para ser candidata a projetos de Mecanismos para Desenvolvimento Limpo e com isto apresenta potencial para emissão de créditos de redução de CO₂ certificadas.

2. DESENVOLVIMENTO

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizada na pesquisa é proveniente da usina termoelétrica da COCAMAR - Cooperativa Agroindustrial localizada cidade de Maringá, estado do Paraná. Foram coletadas 10 amostras de CBC, com temperaturas de queimas diferentes e em dois locais distintos da usina, o multiciclone da caldeira e a piscina de cinzas.

Antes da coleta de cada uma das amostras a caldeira e a piscina foram limpas evitando assim a contaminação das amostras por cinzas provenientes de queimas realizadas com outras temperaturas. Para garantir a uniformidade da temperatura foi realizado controle através de um dispositivo da caldeira que mede a temperatura interna da mesma e garante que esta não varie ao longo do processo.

Tabela 01 – Relação das amostras coletadas

Amostra	Temperatura de Queima (°C)	Local de Coleta
01	600	Piscina
02	650	Piscina
03	700	Piscina
04	800	Piscina
05	850	Piscina
06	600	Multiciclone
07	650	Multiciclone
08	700	Multiciclone
09	800	Multiciclone
10	850	Multiciclone

As CBC retiradas da piscina são provenientes da lavagem da chaminé, onde um sistema faz a aspersão de água para impedir que a fuligem e a poeira da cinza sejam lançadas na atmosfera. As CBC coletadas no multiciclone são cinzas provenientes do fundo da caldeira e são depositadas diretamente no solo. A Figura 01 mostra a usina termoelétrica, a piscina de cinzas e o multiciclone.



Figura 01 – Termoelétrica (a), Saída do Multiciclone(b), Piscina (c)

As amostras coletas foram levadas ao laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá. As cinzas provenientes do multiciclone foram secas à sombra durante 2 dias e as cinzas provenientes da piscina foram secas em estufa com temperatura de 100 °C, durante 24 horas. Após o processo de secagem as amostras foram destorradas em um almofariz com auxílio de um mão de gral revestido de borracha e peneiradas para a retirada de galhos, gravetos, pedras e outras impurezas. A amostra podem ser vistas na Figura 2.



Figura 2 – Cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC)

Para a caracterização e classificação do material foram realizados procedimentos de determinação de atividade pozolânica, difração de Raios-x (DRX), determinação de composição granulométrica, determinação de massa específica, lixiviação e solubilização de acordo com as normas vigentes.

As amostras inicialmente foram analisadas em ensaios de atividade pozolânica e difração de raios-x para assim determinar qual a melhor temperatura de queima do bagaço de cana-de-açúcar e esta ser utilizada para a realização dos ensaios de caracterização e também na confecção dos *pavers*. Foram analisados também os dados de operação da usina termoelétrica da COCAMAR para cada uma das temperaturas, buscando assim um ponto comum entre a geração da CBC e as necessidades da empresa.

2.1. Ensaio de Atividade pozolânica

A atividade pozolânica foi determinada através do Método de Chapelle modificado por Raverdy et al (1980), seguindo a NBR 15895:2010 (Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado), pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPT-SP. Este método possui uma formulação teórica consistente e de execução rápida (CORDEIRO, 2006).

Basicamente o ensaio consiste em colocar 2 g de CaO, 1g do material supostamente pozolânico e 250 ml de água isenta de CO₂ dentro de um frasco e agitá-lo em banho-maria por aproximadamente 16 horas. A quantidade em mg de CaO reagida com 1g do material corresponde ao valor de atividade pozolânica, sendo o consumo de Ca(OH)₂ igual a 436mg/g considerado o mínimo necessário para o material apresentar uma atividade pozolânica considerável.

Os resultados dos ensaios de atividade pozolânica, realizados no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, através do Método de Chapelle modificado por Raverdy et al (1980), seguindo a NBR 15895:2010, constam da Tabela 02.

Tabela 02 – Resultados Ensaio de Atividade Pozolânica

Amostra	Temperatura de Queima (°C)	Local de Coleta	Resultado Atividade pozolânica (mg Ca(OH) ₂ /g amostra)
01	600	Piscina	554
02	650	Piscina	461
03	700	Piscina	249
04	800	Piscina	245
05	850	Piscina	256
06	600	Multiciclone	223
07	650	Multiciclone	387
08	700	Multiciclone	359
09	800	Multiciclone	189
10	850	Multiciclone	194

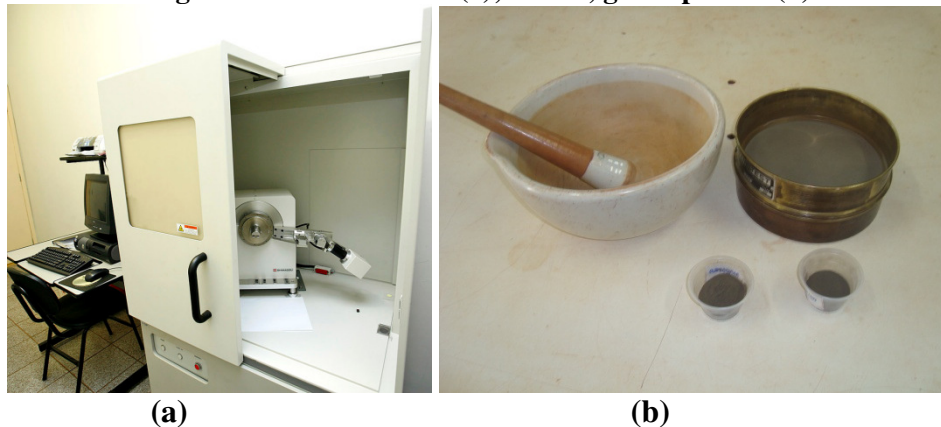
As Amostras 01 e 02 apresentaram consumo superior a 436mg Ca(OH)₂/g amostra, o que indica a atividade pozolânica destas amostras.

2.2. Difração de Raios-x

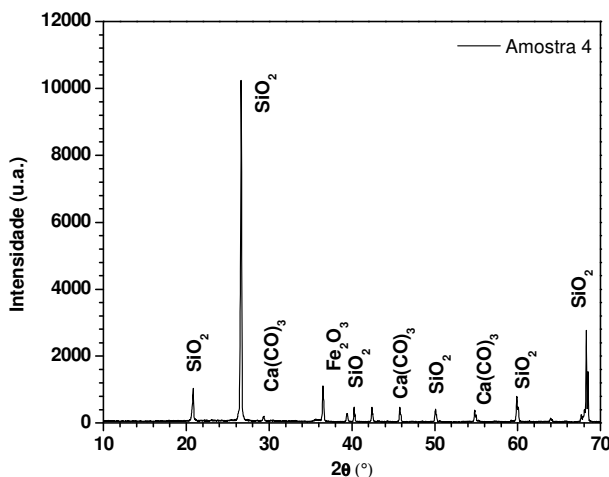
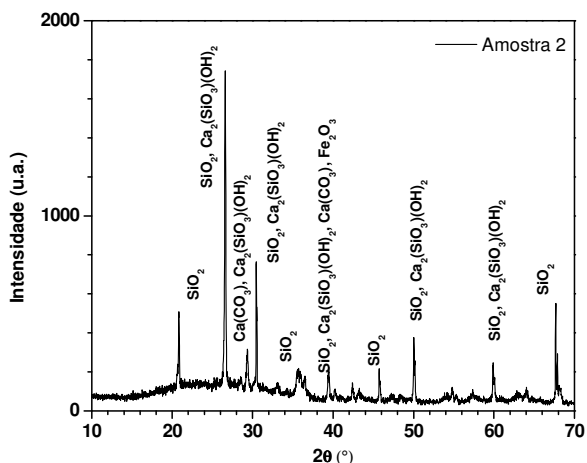
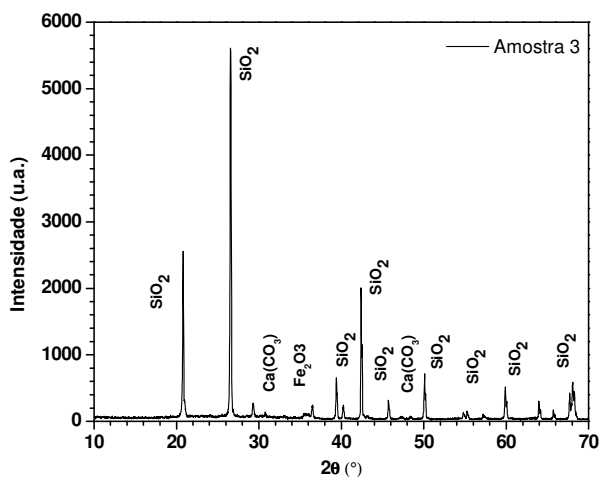
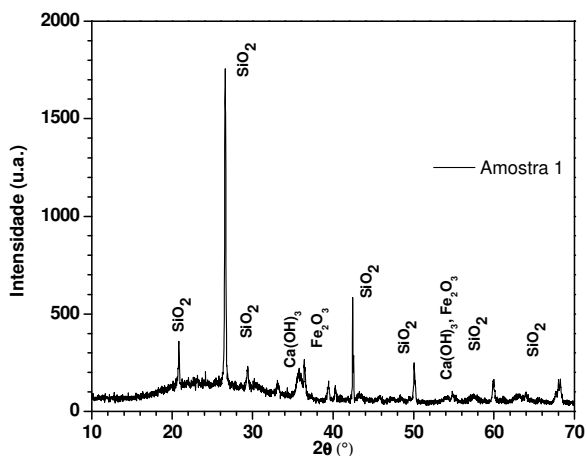
O objetivo deste ensaio é a identificação de fases sólidas (orgânicas e inorgânicas) pelo método do pó, permitindo assim a identificação dos minerais presentes na CBC em relação às suas cristalinidades. O ensaio foi realizado no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá, em um difratômetro da marca Shimadzu, modelo D6000,

com fonte de Cu 40Kv e 30 mA, filtro de Níquel, num sistema completamente computadorizado, operando a 40 kV e 30 mA (Figura 3a). As amostras preparadas antes da realização do ensaio, sendo trituradas com gral e pistilo de porcelana, passados na peneira 0,075mm(#200), conforme pode ser visto na Figura 3b.

Figura 3 – Difratorômetro (a); Pistilo, gral e peneira(b)



A Figura 4 mostra o difratograma de Raios-X das cinzas estudadas.



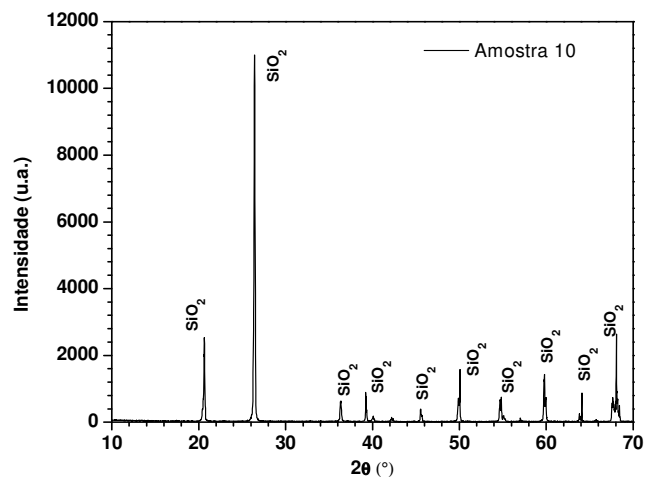
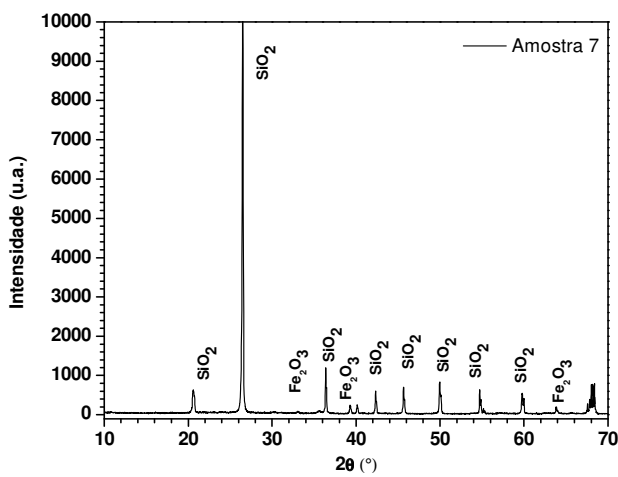
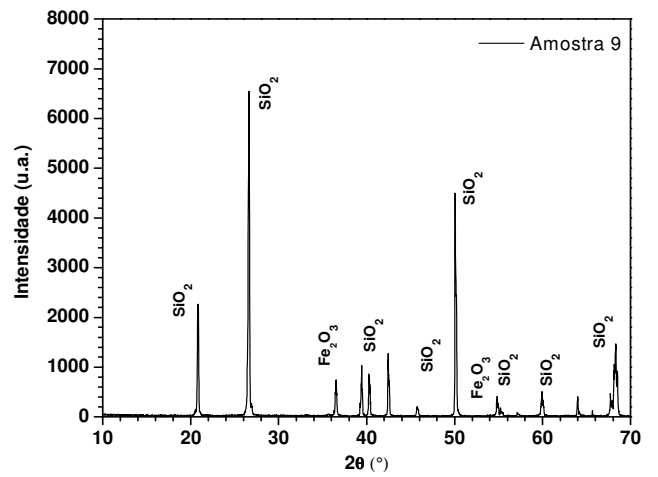
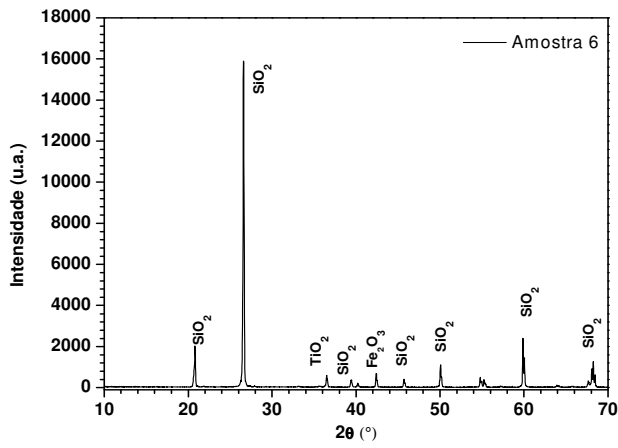
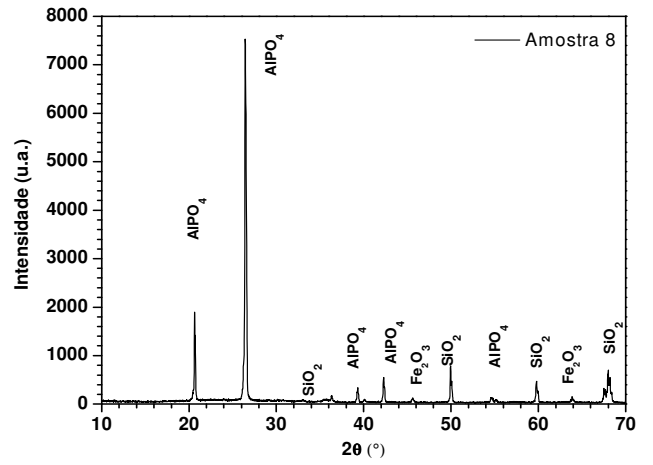
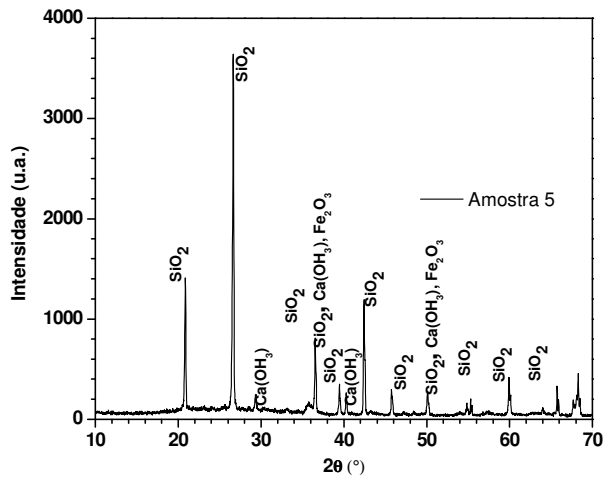


Figura 4 – Digratograma de Raio X das amostras

Os difratogramas das Amostras 01 e 02 apresentam fases amorfas uma vez que os *backgrounds* apresentam curvatura característica de materiais amorfos, como a identificação de minerais que apontam para grande presença de sílica, esta está na forma amorfa, altamente reativa, ou seja, com características pozolânicas.

De acordo com a identificação de minerais, realizada por comparação com os padrões de difração JCPDS-ICCD – International Centre for Diffraction Data (1996), todas amostras apresentam uma fase altamente cristalina na forma de quartzo (SiO₂), material inerte e sem risco ambiental.

3. CONCLUSÃO

Os ensaios realizados demonstram que a temperatura de queima influencia diretamente nas características de pozolanidade da CBC, conforme a afirmação de Cordeiro (2006) de que a quanto maior a temperatura menor a atividade pozolânica. Isto se deve ao fato que em temperaturas elevadas ocorre a formação de cristais de sílica, minimizando assim as propriedades reativas das cinzas obtidas nos processos (MEHTA, 1999).

Os dados obtidos tanto no ensaio de Atividade Pozolânica pelo Método de Chapelle Modificado quanto pela análise dos difratogramas de Raio-X demonstram que as Amostras 01 e 02 apresentaram atividade pozolânica, enquanto amostras obtidas por queima em maiores temperaturas já não apresentam esta propriedade. É importante ressaltar que estas amostras foram coletadas na piscina, ou seja, são cinzas provenientes do sistema de lavagem dos filtros, extremamente finas. As cinzas coletadas na caldeira com a mesma temperatura não apresentaram esta propriedade, o que poderia levar a conclusão que além da temperatura de queima a granulometria influencia a pozolanidade.

Algumas variáveis podem ser tornar alvo de estudos para próximas pesquisas, como por exemplo, a influência da variação da temperatura de queima na produção de calor e energia pela caldeira e o que determina a ocorrência de características pozolânicas diferentes para uma mesma temperatura quando da coleta em locais distintos.

Apesar de possuir alguns fatores a serem pesquisadas, pode-se afirmar, com base na pesquisa realizada neste trabalho e em trabalhos de outros autores, que com uma queima controlada seria possível utilizar este produto de uma forma mais racional, como por exemplo substituindo o cimento em matrizes cimentícias ou então utilizando a CBC como adição ao cimento quando de sua fabricação, como o que já acontece com a escória de alto forno.

AGRADECIMENTOS

COCAMAR - Cooperativa Agroindustrial

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15895**: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.

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 2011/2012 – Terceiro Levantamento**. 2011. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf>. Acesso em: 15 Mar. 2011.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 445f. Tese (Doutorado em) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

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 efect of sugarcane bagasse ash in Portland cement na lime mortars. **Cement & Concret Composites**. 2008. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp>>. 2008. Acesso em 5 mai. 2011.

CORDEIRO, G.C. *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.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

JCPDS-ICDD – International Centre for Diffraction Data (1996).

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.

MEHTA, P. K. **Concrete Technology for Sustainable Development**. 1999. Disponível em: <http://www.ecosmartconcrete.com/kbase/filedocs/trmehta99sustdev.pdf>. Acesso em: 25 Fev. 2012.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. 77f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.