

ESTIMATIVA DA TAXA DE REDUÇÃO DE CO₂ DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM CINZAS RESÍDUAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Paulo Eduardo Teodoro – Universidade Anhanguera Uniderp

Mario Henrique Quim Ferreira – Universidade Anhanguera Uniderp

Diogo Souza Charbel – Universidade Anhanguera Uniderp

Sidiclei Formagini – Universidade Anhanguera Uniderp

Matheus Piazzalunga Neivock – Universidade Anhanguera Uniderp

RESUMO: São notórios os fatos de que o concreto é um material extremamente poluente, poluição derivada da fabricação do cimento, indispensável para o nosso meio de vida como seres humanos. Desta forma é imperativa a criação de formas mais sustentáveis para a construção civil e para os materiais utilizados pela mesma. A substituição de parte do clínquer por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar residual tem grandes benefícios entre eles, agregar valor econômico para este resíduo, eliminação de grande quantidade de material que de outra forma seria descartado como lixo e a diminuição da utilização e produção do clínquer e conseqüente redução de emissão de CO₂ do concreto produzido. Foi estimada a redução da taxa de emissão de CO₂ por metro cúbico de concreto produzido no estado de Mato Grosso do Sul e hipoteticamente no Brasil. Tal análise demonstra a viabilidade de produção de um concreto que utiliza menos cimento e ainda cria uma finalidade para refugos da indústria sucroalcooleira. Com a inserção deste cimento produzido com adição de 15% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar no mercado promoveria diminuição de emissão apenas no Mato Grosso do Sul de aproximadamente de 53,5 kilotoneladas de CO₂ por ano e no Brasil em cenário idêntico teríamos uma redução de aproximadamente 3.162,76 kilotoneladas de CO₂, mantendo a mesma produção atual de cimento.

ABSTRACT: Are notorious facts that concrete is an extremely polluting, pollution derived from the manufacture of cement, essential to our way of life as human beings. Thus it is imperative to creating more sustainable ways for the construction and the materials used for the same. Replacing part of clinker ash by bagasse cane sugar has large residual benefits between them, add economic value to this waste, disposal of large quantities of material that would otherwise be discarded as waste and reducing the use and production clinker and consequent reduction of CO₂ emissions of the concrete produced. Was estimated reduction in CO₂ emissions per cubic meter of concrete produced in the state of Mato Grosso do Sul in Brazil and hypothetically. This analysis demonstrates the feasibility of producing a concrete which uses less cement and also creates a waste purpose for the sugar industry. With the insertion of the cement produced with addition of 15% bagasse ash cane sugar market would promote emission reduction only in Mato Grosso do Sul approximately 53.5 kiloton CO₂ per year and Brazil in identical scenario we would have a reduction of approximately 3162.76 kiloton CO₂, keeping the same current production of cement.

PALAVRAS-CHAVE:

Adições minerais; cimento Portland; materiais pozolânicos.

KEYWORDS:

Additions minerals; Portland cement, pozzolanic materials.

Informe Técnico

Recebido em: 23/06/2013

Avaliado em: 14/02/2014

Publicado em: 17/06/2014

Publicação

Anhanguera Educacional Ltda.

Coordenação

Instituto de Pesquisas Aplicadas e

Desenvolvimento Educacional - IPADE

Correspondência

Sistema Anhanguera de

Revistas Eletrônicas - SARE

rc.ipade@anhanguera.com

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

Os materiais de construção são importantes contribuintes para a mudança climática, tanto pela utilização de combustíveis fósseis na sua produção e transporte como no uso de calcário como matéria-prima, principalmente no cimento.

Para Kyhara e Centurione (2005) o cimento portland é constituído principalmente por clínquer, material sinterizado e peletizado resultante da calcinação a aproximadamente 1450°C de uma mistura de calcário, argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera.

Segundo Cordeiro (2006) depois de produzido o clínquer, o mesmo é resfriado e cominuído com gesso e materiais corretivos em moinho rotativo, formando o cimento portland.

Desta forma, é recomendada a substituição de parte do clínquer por adições minerais que também atuem como materiais cimentantes, como cinza volante, escória ou pozolanas (MALHOTRA; MEHTA, 1996).

Para John (2007) é necessário mais de uma tonelada de calcário para a produção de uma tonelada de clínquer, somando-se ainda toda a liberação de CO₂ provenientes da queima do combustível utilizado pela calcinação, liberado aproximadamente 440 Kilogramas de CO₂ para a atmosfera.

Para Fairbairn et al. (2010) a emissão de gases do efeito estufa provenientes da produção do cimento acontecem tanto no processo industrial quanto na queima do combustível, então uma das soluções para uma possível redução, no que toca a produção, seria a substituição de parte do clínquer por adições minerais que também servem como materiais cimentantes.

Adições minerais são materiais silicosos finamente moídos, adicionados ao concreto em quantidades relativamente grandes, geralmente na faixa de 20 a 100% da massa de cimento Portland. Embora as pozolanas no estado natural ou após ativação térmica estejam sendo empregadas em algumas regiões do mundo, por razões econômicas, muitos subprodutos estão se tornando rapidamente uma fonte principal de aditivos minerais para concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Nos dias atuais, as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, os quais seriam normalmente descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando o risco de contaminação do solo e fontes de água (FORMAGINI, 2007).

Desta forma, o uso de adições minerais na indústria do cimento e do concreto, substituindo parcialmente clínquer ou cimento, não só reduz o impacto ambiental causado pelos resíduos de outras indústrias quando jogados em depósitos sem destino adequado, mas também reduz o volume de extração de matérias-primas por parte da indústria da construção civil (DAL MOLIN, 2005).

Inúmeros são os casos de utilização de adições minerais em obras de concreto, principalmente as pozolanas (cinza volante e argila calcinada) e escórias de alto-forno que tradicionalmente são utilizadas na produção de cimentos substituindo parcialmente o clínquer. Seu uso é justificado em obras onde a redução do calor de hidratação é essencial, como barragens, e em ambientes com presença de cloretos, para reduzir a sua penetração e aumentar a durabilidade quanto à corrosão das armaduras (DAL MOLIN, 2005).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, teve em 2009 uma produção 671,4 milhões de toneladas de cana de açúcar (IBGE, 2010).

Durante a moagem da cana-de-açúcar para a extração do caldo, há geração de bagaço. Esse subproduto é normalmente queimado como combustível em caldeiras que geram o vapor d'água utilizado na produção de açúcar e álcool e em processos de co-geração de energia (CORDEIRO, 2006; TOLEDO FILHO et al., 2007; FAIRBAIRN et al., 2010), dessa queima a sobra é a cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

Para Cordeiro (2006); Toledo Filho et al. (2007) e Fairbairn et al. (2010) a cinza proveniente da queima do bagaço de cana-de-açúcar apresenta como seu principal composto químico a sílica, normalmente em quantidade acima de 60% em massa e, dependendo das condições de queima, a sílica se manterá em estado amorfo possibilitando o emprego dessa substância como pozolana.

A substituição de parte do clínquer por este material residual tem grandes benefícios entre eles, agregar valor econômico para este resíduo, eliminação de grande quantidade de material que de outra forma seria descartado como lixo e a diminuição da utilização e produção do clínquer e conseqüente redução de emissão de CO₂ do concreto produzido.

Assim sendo, objetivou-se estimar a taxa de redução na emissão de CO₂ por metro cúbico do concreto produzido com adição mineral de cana-de-açúcar.

2. METODOLOGIA

A estimativa da taxa de emissão de CO₂ por metro cúbico de concreto produzido foi realizada utilizando-se a metodologia descrita por Fairbairn et al. (2010). Em seu trabalho Fairbairn descreve as equações utilizadas para estimar a emissão de CO₂ em um cenário hipotético descrito a seguir:

Este autor utiliza o Estado de São Paulo para o estudo de seu trabalho, ele descreve dois cenários, o primeiro é o controle correspondendo à produção real do Estado mencionado.

Neste cenário é descrito a real utilização de adições minerais no cimento Brasileiro correspondendo a 15% de adição mineral, pozolanas, escória e fillers materiais ao qual o autor se refere como *madd1*, 5% de gesso e 80% de clínquer.

No segundo cenário, um cenário hipotético, a adição mineral passaria para 30%, neste segundo caso apenas metade do concreto poderia ser produzido levando-se em conta que a

quantidade disponível de *madd1* não seria modificada.

Para a fabricação dos outros 50% seria criado um novo tipo de concreto denominado *tipo C* pelo autor. Esse novo cimento utilizaria 15% de adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, 5% de gesso e 80% de clínker.

De acordo com o autor, a emissão de CO₂ do controle é calculada pela equação 2:

$$EC = (EC_{\text{clinker}} * C_{\text{mist}}) + EC_{\text{ele_ADD}} \quad (2)$$

Onde:

EC = Emissões derivadas do controle, Massa de CO₂ emitido por massa de cimento produzido.

EC_{clinker} = Massa de CO₂ emitido por massa de clínker produzido, atualmente 0.827 para o cimento Brasileiro.

C_{mist} = Porcentagem atualmente utilizada de clínker por tonelada de cimento produzido.

$EC_{\text{ele_ADD}}$ = Emissão proveniente da energia utilizada para adição mineral, lembrando que o Brasil utiliza basicamente energia limpa proveniente de hidroelétricas assim desconsiderando este valor.

E a emissão de CO₂ do cenário 2 pela equação 3:

$$E2 = (E2_{\text{clinker}} * 2_{\text{mist}}) + E2_{\text{ele_ADDcinza}} \quad (3)$$

Onde:

E2 = Emissões derivadas do cenário hipotético, Massa de CO₂ emitido por massa de cimento produzido.

$E2_{\text{clinker}}$ = Massa de CO₂ emitido por massa de clínker produzido.

2_{mist} = Porcentagem utilizada de clínker por tonelada de cimento produzido do cenário 2. O cálculo da porcentagem 2_{mist} leva em conta que metade do cimento produzido neste cenário utilizaria apenas 65% de clínker e a outra metade 80%, tendo assim uma porcentagem final de 72.5% de clínker no cimento total produzido.

$EC_{\text{ele_ADD}}$ = Emissão proveniente da energia utilizada para a preparação da adição mineral, lembrando que o Brasil utiliza basicamente energia limpa proveniente de hidroelétricas assim desconsiderando este valor.

Nos 2 casos ainda deve-se levar em consideração as emissões provenientes do produção das adições minerais (*madd1*) e do gesso, mas como a mesma quantidade destes materiais seria produzida em ambos os cenários este valor é desconsiderado para o cálculo de redução de CO₂.

Assim, de acordo com Fairbairn et al. (2010) a taxa de redução de CO₂ é dada pela equação 4:

$$RE_a = [(EC - E2) * PCT_a + E_{ta}] * (1 - \alpha) \quad (4)$$

Onde:

RE_a = Redução anual da emissão de CO₂.

EC = Emissões derivadas do controle, Massa de CO₂ emitido por massa de cimento produzido (massa de CO₂/massa de cimento).

$E2$ = Emissões derivadas do cenário hipotético, Massa de CO₂ emitido por massa de cimento produzido (massa de CO₂/massa de cimento).

PCT_a = Produção total de cimento.

E_{ta} = Emissões de CO₂ adicionais provenientes do transporte de aditivos.

α = Emissões de CO₂ adicionais provenientes do uso de aditivos minerais diferentes dos usados atualmente, mas por se tratar de resíduo sobressalente, encontrado em grandes quantidades e derivado de um processo sustentável (CO₂ proveniente de sua produção e queima é consumido pelo novo plantio do material) esta emissão será desconsiderada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando a equação (4) de acordo com o cenário 2 então temos:

$$RE_a = [(0.827 * 0.8) - (0.827 * 0.725) * PCT_a + E_{ta}]$$

Lembrando que PCT_a é a produção anual de cimento, a produção Brasileira em 2009 foi de 51.747.598,00 toneladas e do Mato Grosso do Sul no mesmo ano foi de 872.031,00 toneladas (SNIC, 2011).

O parâmetro E_{ta} é calculado por Fairbairn et al. (2010) para o transporte das cinzas no Estado de São Paulo foi de 7.7 kilotoneladas de CO₂ para 637.5 kilotoneladas de cinzas residuais. Extrapolando temos aproximadamente 12.08 gramas de CO₂ por kilo de cinza transportada.

Neste caso considerando que metade do cimento produzido utilizaria 65% clínker, 5% de gesso e 30% de *madd1* e a outra metade 80% clínker, 5% gesso e 15% de adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, na produção do Mato Grosso do Sul teríamos uma diminuição de 54,09 kilotoneladas de CO₂ menos E_{ta} , como o Estado iria consumir 65,4 kilotoneladas de cinza residual o E_{ta} seria de aproximadamente 790 toneladas de CO₂ então a diminuição de emissão apenas no Mato Grosso do Sul seria aproximadamente de 53,5 kilotoneladas de CO₂ por ano.

No Brasil em cenário idêntico teríamos uma redução de 3.209,64 kilotoneladas de CO₂ menos E_{ta} , consumindo 3.881,07 kilotoneladas de cinzas residuais o E_{ta} seria aproximadamente 46,88 kilotoneladas de CO₂ neste caso a redução total de CO₂ da produção Brasileira será de aproximadamente 3.162,76 kilotoneladas de CO₂.

Para pesquisas futuras sugere-se a realização de ensaios como a penetração acelerada de íons cloretos, e exposição lenta a solução de sulfato de magnésio e também testes de durabilidade em corpos de prova produzidos com adição da cinza do bagaço de cana-de-açúcar e curados por mais tempo, a adição retarda o tempo de reação do material.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inserção deste cimento produzido com adição de 15% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar no mercado, promoveria diminuição de emissão apenas no Mato Grosso do Sul de aproximadamente de 53,5 kilotoneladas de CO₂ por ano e no Brasil em cenário idêntico teríamos uma redução de aproximadamente 3.162,76 kilotoneladas de CO₂, mantendo a mesma produção atual de cimento.

Alem da diminuição de CO₂, este novo cimento utilizaria em torno de 65,4 kilotoneladas de cinza residual apenas no Estado ou até 3.881,07 kilotoneladas de cinzas para produção nacional, agregando valor para um resíduo cada vez mais disponível devido ao crescimento nacional da indústria sucroalcooleira.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, G.C. Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Mineraiis em Concreto. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

DAL MOLIN, D.C.C. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações; Isaia, G. C., 1ª Ed., Ibracon: São Paulo, 2005, cap. 12.

- FAIRBAIRN, E.M.R.; AMERICANO, B.B.; CORDEIRO, G.C. ; PAULA, T.P. ; TOLEDO FILHO, R.D.; SILVOSO, M.M. Cement replacement by sugar cana bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management*, v.91, p. 1864-1871, 2010.
- FORMAGINI, S. Dosagem Científica e Caracterização Mecânica de Concretos de Altíssimo Desempenho. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2005.
- JOHN, V.M. *Materiais de Construção Civil e Princípios da Ciência e Engenharia de Materiais*; Isaia, G. C., 1ª Ed., Ibracon: São Paulo, 2007, v.1.
- KYHARA, Y.; CENTURIONE, S.L. *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*; Isaia, G. C., 1ª Ed., Ibracon: São Paulo, 2005, cap. 10.
- MALHOTRA, V.M.; METHA, P.K. *Pozzolan and Cementitious Materials*, first Ed. Gordon and Breach Publishers, Amsterdam. 1996.
- MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais*, 1 ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 616 p.
- TOLEDO FILHO, R.D.; GONÇALVES, J.P.; AMERICANO, B.B.; FAIRBAIRN, M.R. Potencial for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. *Cement and Concrete Reserch*, v.37 p.1357-1365, 2007.