



Substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social

Mariana Felicetti Rezende¹

Fernando Carlos Scheffer Machado²

Antonio Maria Claret Gouveia³

Augusto Cesar Silva Bezerra⁴

Rodolfo Henrique Freitas Grillo⁵

Yuri Vilas Boas Ortigara⁶

Resumo

Este trabalho apresenta uma simulação das possíveis reduções de emissões de gases de efeito estufa geradas pela substituição parcial de cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) em habitações de interesse social. Para isso, foi analisado o uso da CBCA nas construções do Programa “Minha Casa Minha Vida” em Minas Gerais e foram mensuradas as reduções pelo Método QE-CO₂. As emissões de CO₂ de dois cenários hipotéticos foram avaliadas com base na metodologia QE-CO₂, nível básico. Os resultados demonstram que a substituição do cimento Portland pela CBCA pode gerar reduções de custos e, sobretudo, dos patamares de emissões de CO₂, em ambos os cenários, evidenciando, dessa forma, a possibilidade de utilização da cinza de bagaço da cana-de-açúcar em habitações de interesse social.

Palavras-chave: Pozolana. Pegada de carbono. Mecanismo de desenvolvimento limpo. Sustentabilidade.

Introdução

A oferta de ambiente construído com maior número de unidades residenciais de melhor qualidade, principalmente nos países em desenvolvimento, é condição indispensável para a melhoria da qualidade de vida da população. Como consequência, espera-se que a indústria de materiais de construção cresça mundialmente duas vezes e meia entre os anos de 2010 e 2050. No Brasil, a expectativa é que o setor da construção civil, devido aos serviços vinculados às políticas públicas, duplique seu tamanho até o ano 2022 (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS -FGV, 2010), devido a programas governamentais como o “Minha Casa Minha Vida”.

A cadeia produtiva da construção civil e os órgãos governamentais, inclusive em nível internacional, demoraram a perceber o impacto do crescimento desse setor e, atualmente, são forçados a mudanças culturais, tecnológicas e de comportamento para atender à demanda crescente de uma

1 Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, professora. Pouso Alegre, MG, Brasil. mariana.felicetti@ifsuldeminas.edu.br

2 Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, professor. Pouso Alegre, MG, Brasil. fernando.scheffer@ifsuldeminas.edu.br

3 Universidade Federal de Ouro Preto, professor. Ouro Preto, MG, Brasil. amclaretgouveia@gmail.com

4 Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, professor. Belo Horizonte, MG, Brasil. augustocsbezerra@hotmail.com

5 Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, professor. Pouso Alegre, MG, Brasil. rodolfo.grillo@ifsuldeminas.edu.br

6 Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, professor. Pouso Alegre, MG, Brasil. yuri.ortigara@ifsuldeminas.edu.br

sociedade cada vez mais bem esclarecida e exigente em relação à preservação do meio ambiente (AGOPYAN; JOHN, 2011).

No Brasil, sobretudo nas duas últimas décadas, ocorreram significantes mudanças de paradigmas, tais como o estudo de índices de perdas de materiais de construção civil em escala nacional financiado pela Empresa Pública Brasileira de Fomento à Ciência, Tecnologia e Inovação (FINEP), a elaboração da Resolução 307, de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) sobre os resíduos e, mais recentemente, selos instrumentos de adesão voluntária de eficiência energética de edifícios no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Programa Nacional de Uso Racional da Água. Destaca-se também o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), que promoveu a qualidade da construção e, conseqüentemente, contribuiu para a sua sustentabilidade (AGOPYAN et al. 1998).

Tais iniciativas, relevantes no contexto nacional, representam a efetiva diminuição dos impactos socioambientais e demonstram uma mudança de comportamento na sociedade. Entretanto, o país necessita de uma política sistêmica, pois tais ações ainda atendem parcialmente aos anseios da sociedade. Falta, portanto, aos governos, em todos os níveis, dar exemplos palpáveis nas obras públicas e até mesmo naquelas destinadas às populações carentes como as habitacionais, que, até então, não levam em consideração essa abordagem (AGOPYAN et al. 1998).

Contribuição da Construção para as Mudanças Climáticas

A atividade humana no planeta é causadora da ampliação da concentração de gases como CO₂ (Dióxido de Carbono), CH₄ (Metano) e N₂O (Óxido Nitroso), gases que diminuem a transparência da atmosfera e ficam concentrados em determinadas regiões do espaço, formando uma camada que bloqueia a dissipação da energia emitida ou refletida pela terra, fazendo o calor ficar retido nas camadas mais baixas da atmosfera trazendo graves problemas ao planeta (PACHAURI; REISINGER, 2007).

A produção mundial de cimento Portland em 2014 foi de aproximadamente 4,3 bilhões de toneladas (CEMBUREAU, 2015), sendo o material artificial de maior consumo no mundo (BERNSTEIN; ROY, 2007). Estima-se que de 30 a 40 % dos recursos naturais são usados na construção civil (GHAVAMI, 2009). A produção de 1 tonelada de cimento consome em torno de 1,6 tonelada de recursos naturais (JENNINGS; BULLARD, 2011). Uma planta eficiente de cimento consome perto de 100 kWh por tonelada de cimento produzido (GARTNER; MACPHEE, 2011). No processo de produção do clínquer, principal constituinte do cimento, são emitidos diversos gases poluentes, destacando-se o dióxido de carbono (CO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). Aproximadamente 90 % das emissões de CO₂ oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção do clínquer, nos processos de calcinação/descarbonatação da matéria-prima, que se trata de tratamento de remoção da água, CO₂ e de outros gases ligados a uma substância, e de queima de combustíveis no forno (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2012). Para cada tonelada de clínquer produzido são lançados na atmosfera de 870 kg de CO₂ (RUIZ-SANTAQUITERIA et al., 2009) a 670 kg de CO₂ (SÁ et al., 2011). Segundo Scrivener et al. (2008), a indústria do cimento é responsável por cerca de 5 a 8 % das emissões mundiais de CO₂, contribuindo assim de forma significativa.

Observam-se também outras fontes importantes de emissões de CO₂ dos materiais da construção civil (AGOPYAN; JOHN, 2011):

- Uso de combustível fóssil no transporte de materiais.
- Extração de madeira nativa, especialmente a não manejada, para emprego como material de construção e como combustível.

O cimento Portland, comumente, é composto por uma mistura de clínquer, sulfato de cálcio e adições. Normas internacionais e nacionais regulamentam os diversos tipos de cimento Portland com variações de 100 a 30 % de clínquer na sua constituição. Com isso, as adições podem ter participação de 0 a 70 % nos cimentos. Essas adições, em sua maioria, eram resíduos no passado. O emprego de adições reduz a pegada de carbono da indústria do cimento.

Com o objetivo de reduzir a emissão de gases do efeito estufa pela indústria cimenteira, vários pesquisadores estudaram o uso de resíduos no cimento Portland. Resende et al. (2012) estudaram o lodo de estação de tratamento de efluentes em adição ao cimento Portland. Matos Neto et al. (2015) estudaram argilas residuais da atividade mineradora para a produção de pozolanas para serem adicionadas ao cimento Portland. Resende et al. (2014) estudaram cinzas de madeira para o mesmo uso. Nos últimos anos, vários trabalhos foram publicados com resultados positivos do uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como pozolanas para produção de cimentos (PAYÁ et al., 2002; GANESAN et al., 2007; CORDEIRO et al., 2009; BEZERRA et al., 2014).

Bezerra et al. (2014) apresentaram resultados adequados de resistência à compressão e à tração na flexão de argamassas de cimento Portland com substituições de 10, 20 e 30 % pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar, levando à economia de cimento Portland.

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado pela Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change), que trata de compromissos de redução de emissão de gases de efeito estufa dos países a cumprirem as metas do Protocolo de Quioto. A proposta de MDL tem objetivo de reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEEs) e contribuir para o desenvolvimento sustentável local. Cada tonelada de CO₂ equivalente deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera transformaria-se em uma unidade de crédito de carbono, chamada Redução Certificada de Emissão (RCE), que pode ser negociada no mercado mundial (AGOPYAN; JOHN, 2011).

A substituição de clínquer por cinza de bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos pode auxiliar a indústria cimenteira a atingir três objetivos: aumentar a produção de cimento para atender a demanda mundial; diminuir a emissão de carbono; reduzir os custos (AGOPYAN et al. 1998). Portanto, estudos relacionados à aplicação da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral possibilitam a produção de concretos com maior resistência e durabilidade e a redução de custos e de impactos ambientais negativos decorrentes da disposição dos resíduos (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Nesse contexto, questiona-se qual a redução da emissão de CO₂ e os respectivos impactos econômicos decorrentes da substituição parcial do cimento Portland pela cinza oriunda da queima do bagaço de cana-de-açúcar. O presente trabalho avaliou a redução de emissões de CO₂ decorrentes da substituição parcial de Cimento Portland por CBCA, por meio do Método QE-CO₂, nas construções do Programa “Minha Casa Minha Vida” da cidade de Pouso Alegre (MG), por cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

Estudo de Caso: O Programa “Minha Casa Minha Vida” e as Emissões de Gases do Efeito Estufa

“Minha Casa Minha Vida (PMCMV)” é um programa habitacional do Governo Federal do Brasil, iniciado em 2009, que consiste no financiamento da habitação. O PMCMV propõe-se a subsidiar a aquisição da casa própria para famílias com renda mensal de até R\$ 1.600,00 e facilitar as condi-

ções de acesso ao imóvel para famílias com renda de até R\$ 5 mil. O Programa tem como diretrizes a redução do déficit habitacional, que hoje atinge 6 milhões de unidades, a distribuição de renda e inclusão social; a dinamização do setor da construção civil e geração de trabalho.

O Programa foi instituído pela Lei nº 11.977, de 7 de Julho de 2009, e é constituído por dois programas:

- Programa Nacional de Habitação Urbana – PNHU, que objetiva promover a construção ou aquisição de novas unidades habitacionais ou a requalificação de imóveis urbanos, para famílias com renda mensal de até R\$ 5.000,00.
- Programa Nacional de Habitação Rural – PNHR, que tem como objetivo construir ou reformar imóveis de agricultores familiares e trabalhadores rurais cuja renda familiar anual bruta não ultrapasse R\$ 60.000,00 (sessenta mil reais).

De 2009 a maio de 2012, o PMCMV contratou 1.728.555 unidades habitacionais, sendo 1.005.128 da primeira fase e 723.427 da segunda. E a meta para a terceira fase do Programa, que foi oficialmente lançada em 2014, é construir mais três milhões de casas e apartamentos.

Em Pouso Alegre já foram construídas e entregues 600 unidades habitacionais, 300 unidades estão em construção. Além disso, o município negocia com a Caixa mais três empreendimentos que irão proporcionar a construção de mais mil moradias (EYMARD, 2014).

O Programa habitação para famílias com renda de até 3 salários mínimos abrange duas tipologias, casas térreas ou prédios com apartamento com área variando de 35 m² a 42 m², geralmente com dois quartos, sala, cozinha, banheiro e área de serviço (STACHERA, T. J.; CASAGRANDE, E. F. J. et al, 2006). Para o estudo, serão consideradas casas com aproximadamente 40 m², de custo estimado em R\$ 47.861,60, calculado pelo CUB (SINDUSCON/MG – agosto de 2015) para residências de baixo custo.

Materiais e métodos

Este estudo de natureza descritiva baseou-se no quantitativo de 600 unidades habitacionais financiadas pelo “Programa Minha Casa Minha Vida”, em sua primeira fase na cidade de Pouso Alegre (MG). Foi avaliada a construção de uma unidade básica de aproximadamente 40 m² de área total.

Para estimar a emissão de CO₂, escolheu-se o Método para Quantificação das emissões de CO₂ (Método QE-CO₂) desenvolvido por Costa (2012), que leva em consideração as emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas nas etapas de extração de matérias-primas, processamento e transporte dos materiais empregados na construção civil.

O método QE-CO₂ é subdividido em três patamares de precisão de estimativas de CO₂ geradas por cada material analisado: Básico; Intermediário; Avançado. O patamar Básico, escolhido entre os três níveis de precisão de estimativas do método, é calculado de acordo com a fórmula geral do Método QE-CO₂ e é utilizado quando estão disponíveis somente valores médios sobre consumo de energia, transporte e/ou composição química dos materiais. Quando não se conhece ao certo essas variáveis, como local de extração, produção e consumo ou tipo de meio de transporte utilizado, emprega-se a seguinte equação:

$$\text{Emissões MT}_j = \text{QT}_j \cdot \text{FP}_j \cdot \text{FEP}_j \quad (1)$$

em que:

QT_j: Quantidade do produto j necessária na obra, em toneladas;

FP_j: Fator de perda do produto j, adimensional;

FEP_j: Fator de emissão de CO₂ devido à utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO₂/tonelada de produto acabado.

O fator de perda de determinado material causado por desperdícios na aplicação durante a obra foi obtido a partir de dados sobre as perdas de materiais nos canteiros de obra no Brasil, conforme descrito por Agopyan et al. (1998). O Quadro 1. Indicador global de perda de materiais na obra, por material (%) apresenta o indicador global de perda média do cimento, conforme os autores citados.

Quadro 1. Indicador global de perda de materiais na obra, por material (%)

Material	Média (%)	Mínimo (%)
Cimento	95	5

Fonte: Agopyan et al. (1998)

O fator de emissão de CO₂ devido à utilização do cimento, apresentado no Quadro 2. Fator de emissão de CO₂ do cimento, é consequência das emissões geradas pelas fases de extração, processamento e transporte dos materiais de construção, de acordo com Sessa (2013).

Quadro 2. Fator de emissão de CO₂ do cimento

Material	Unidade	Valor
Cimento	tCO ₂ /t	0,652

Fonte: Agopyan et al. (1998)

De acordo com a fórmula geral do Método QE-CO₂, a emissão de CO₂ do cimento na construção de casas populares com até 40 m² é de aproximadamente 3,496 t CO₂, como apresentado no Quadro 3. Emissão de CO₂ devido ao uso do cimento no projeto de 40 m².

Quadro 3. Emissão de CO₂ devido ao uso do cimento no projeto de 40 m²

Termo	Significado	Valor	Unidade
QT _j	Quantidade de cimento necessária na obra	2,75	t
FP _j	Fator de perda do cimento	1,95	adimensional
FEP _j	Fator de emissão de CO ₂ devido à utilização do cimento em edificações	0,652	tCO ₂ / t
Emissões		3,496	tCO ₂

Fonte: Agopyan et al. (1998)

Para estimar o benefício ambiental proporcionado pela CBCA, é preciso calcular o fator de emissão para cimento (FEP_j) e para a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, além da quantidade de matéria-prima necessária para a produção do cimento desejado (SESSA, 2013). O Quadro 4. Proporção de materiais utilizados para confecção de cimentos com cinza de bagaço de cana-de-açúcar moída para construção da casa de 40 m² apresenta os dados utilizados para a produção do cimento de referência e dos cimentos com substituição pela CBCA no teor de 10 % e 20 %.

Quadro 4. Proporção de materiais utilizados para confecção de cimentos com cinza de bagaço de cana-de-açúcar moída para construção da casa de 40 m²

Materiais	Referência (t)	10 % cinza (t)	20 % cinza (t)
Cimento	2,75	2,475	2,20
Cinza	0,0	0,170	0,341

Fonte: Costa, 2012.

A massa de cinza necessária para substituição do cimento foi calculada a partir do volume de cimento que corresponde à massa de cimento que se deseja substituir (massa específica da cinza igual a $1,977 \text{ g/cm}^3$, dividida pela massa específica do cimento equivalente a $3,18 \text{ g/cm}^3$ e multiplicada pela massa do cimento referente ao percentual de substituição).

$$\text{Massa da cinza} = \frac{P \text{ cinza}}{P \text{ cimento}} \times \text{massa do cimento} \quad (2)$$

Cálculo do fator de emissão (FEP) para cinza do bagaço da cana-de-açúcar

As etapas do processo produtivo da CBCA que emitem CO_2 compreendem o transporte do local em que a cinza foi gerada até o local onde ocorrerá a obra e a moagem da cinza necessária para ativar as reações químicas de aditivos minerais e reduzir os tamanhos das partículas conferindo maior compacidade à mistura.

Atividades como moagem da cana-de-açúcar para extração do caldo que dá origem ao bagaço e queima do bagaço, como combustível em caldeiras que geram vapor de água utilizado na produção de açúcar e álcool, foram desconsideradas para cálculo do fator de emissão de CO_2 (FEP) da cinza, uma vez que são atividades que já seriam feitas independentemente do aproveitamento da CBCA na construção civil.

Transporte

Segundo Costa (2012), as emissões de CO_2 em função do transporte devem ser calculadas levando-se em consideração o consumo médio de energéticos para o transporte de matérias-primas e do produto acabado, como é explicitado na equação abaixo.

$$\text{Emissões}_{\text{TR1}} = \text{km} \cdot \text{CO}_t \cdot \text{FEC}_i \quad (3)$$

em que:

$\text{Emissões}_{\text{TR1}}$ = emissões de CO_2 em razão do transporte, em toneladas de CO_2 / tonelada de produto acabado;

km = distância percorrida pelo veículo no transporte de matérias e produto acabado (somatório da distância de ida mais a de volta), em km;

CO_t = fator de consumo médio de energia de determinado tipo de veículo, em L/t/km;

FEC_i = fator de emissão corrigido da energia i , em tCO_2 / l .

Para o transporte da cinza, estima-se a distância de 164 km entre a Usina Sucroalcooleira onde ocorre a produção da cinza até o centro da cidade de Pouso Alegre, de acordo com a interface do Google Maps 2015. Caso os caminhões retornem vazios, deve-se dobrar a distância total percorrida, totalizando 328 km.

O veículo escolhido para o transporte foi o caminhão semipesado, movido a óleo diesel, por ser indicado para médias e longas distâncias entre centros urbanos. O consumo médio de combustível desse tipo de caminhão é de $0,0196 \text{ L/t/km}$, enquanto que o fator de emissão corrigido do óleo diesel fica em $0,0032 \text{ tCO}_2/\text{L}$ (COSTA, 2012).

Sendo assim, utilizando a equação 7, tem-se:

$$\text{Emissões}_{\text{TR, CBCA}} = 328 \cdot 0,0196 \cdot 0,0032 = 0,02057 \text{ tCO}_2/\text{t produto} \quad (4)$$

Moagem

A moagem ou cominuição de aditivos minerais e materiais cimentícios é imprescindível para ativar as reações químicas, cujas taxas são diretamente proporcionais à superfície específica do material que, por sua vez, é inversamente proporcional ao tamanho das partículas (CORDEIRO, 2004).

Para avaliar a emissão de CO₂ devido à moagem da CBCA, foi pressuposto de forma conservadora que o índice de trabalho para moer a cinza seja igual à moagem do clínquer. De acordo com os resultados de ensaios de moabilidade realizados por Hosten e Avsar (1998), esse índice vale 13,49 kWh/t.

Trata-se de emissão indireta o consumo de energia elétrica utilizada no processo produtivo de algum material, de modo que o trabalho de moagem possa ser convertido em emissão de CO₂ por meio do fator de emissão de eletricidade que varia em cada país. De acordo com Sustainable Energy Project Support (SEPS) no Brasil, esse valor é equivalente a 0,075 tCO₂/MWh.

Sendo assim:

$$\text{Emissões Moagem CBCA} = 13,49 \text{ kWh/t} \cdot 0,000075 \text{ tCO}_2/\text{kWh} \quad (5)$$

$$\text{Emissões Moagem CBCA} = 0,00101 \text{ tCO}_2/\text{t produto} \quad (6)$$

Portanto, o fator de emissão de CO₂ da CBCA pode ser expresso como a soma das emissões geradas pelo transporte e moagem da cana-de-açúcar:

$$\text{FEP CBCA} = ,0,0216 \quad (7)$$

O fator de emissão de CO₂ da CBCA é inferior ao fator de emissão do cimento (0,6518), pois todas atividades que antecedem a geração das cinzas já são feitas independentemente de serem aproveitadas como aditivo mineral. Então, a energia consumida para tratá-la é consideravelmente menor que a energia para produção de cimento Portland.

O fator de emissão de CO₂ devido à utilização da CBCA, apresentado no Quadro 5, é consequência das emissões geradas pelas fases de extração, processamento e transporte dos materiais de construção, conforme Sessa (2013).

Quadro 5. Fator de emissão de CO₂ da cinza

Material	Unidade	Valor
CBCA	tCO ₂ /t	0,0216

Fonte: Sessa, 2013.

Resultados e discussão

De acordo com a fórmula geral do Método QE-CO₂, a emissão de CO₂ decorrente da utilização de 2,75 t de cimento na construção de uma unidade residencial com padrão simples e de aproximadamente 40 m² é de 3,496 t CO₂. Quando se substitui 10 % do cimento utilizado por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, esse valor é reduzido para 3,154 t CO₂, ou seja, ocorre uma redução de 9,80 % de emissões de CO₂ como apresentado no Quadro 6. Emissão de CO₂ devido ao uso de 10 % de CBCA no projeto de 40 m².

Quadro 6. Emissão de CO₂ devido ao uso de 10 % de CBCA no projeto de 40 m²

Termo	Significado	Valor	Unidade
QT _j	Quantidade de cimento necessária na obra	2,475	T
FP _j	Fator de perda do cimento	1,95	Adimensional
FEP _j	Fator de emissão de CO ₂ devido à utilização do cimento em edificações	0,652	tCO ₂ / t
Emissões Cimento		3,147	tCO₂
QT _j	Quantidade de CBCA necessária na obra	0,170	T
FP _j	Fator de perda da CBCA	1,95	Adimensional
FEP _j	Fator de emissão de CO ₂ devido à utilização da CBCA em edificações	0,0216	tCO ₂ / t
Emissões 10 % CBCA_j		0,0072	tCO₂
Emissões Cimento + Emissões 10 % CBCA_j		3,154	tCO₂

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quando substitui-se 20 % do cimento utilizado por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, esse valor é reduzido para 2,811 t CO₂, ou seja, ocorre uma redução de 19,60 % de emissões de CO₂ como apresentado no Quadro 7. Emissão de CO₂ devido ao uso de 20 % de CBCA no projeto de 40 m².

Quadro 7. Emissão de CO₂ devido ao uso de 20 % de CBCA no projeto de 40 m².

Termo	Significado	Valor	Unidade
QT _j	Quantidade de cimento necessária na obra	2,20	T
FP _j	Fator de perda do cimento	1,95	Adimensional
FEP _j	Fator de emissão de CO ₂ devido à utilização do cimento em edificações	0,652	tCO ₂ / t
Emissões Cimento		2,797	tCO₂
QT _j	Quantidade de CBCA necessária na obra	0,341	T
FP _j	Fator de perda da CBCA	1,95	Adimensional
FEP _j	Fator de emissão de CO ₂ devido à utilização da CBCA em edificações	0,0216	tCO ₂ / t
Emissões 20 % CBCA_j		0,0144	tCO₂
Emissões Cimento + Emissões 20 % CBCA_j		2,811	tCO₂

Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando que o Programa Minha Casa Minha Vida em suas duas primeiras fases já construiu 600 unidades habitacionais com aproximadamente 40 m² na cidade de Pouso Alegre, a emissão total de CO₂, utilizando somente cimento, é de aproximadamente 2.097,8 t CO₂ (Quadro 8). Com o uso de cinza de bagaço de cana-de-açúcar substituindo 10 % do total de cimento, há uma redução de 205,5 t CO₂ emitidos. Quando substituído 20 % do cimento, a redução passa a ser de 411,0 t CO₂ emitidos, equivalente à emissão gerada pelo cimento usado na construção de 117 casas do mesmo padrão e metragem, sem substituição de cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Quadro 8. Emissão de CO₂ do PMCMV

Número de Unidades	Emissão com cimento referência (t CO ₂)	Emissão com substituição de 10 % (t CO ₂)	Emissão com substituição de 20 % (t CO ₂)
1	3,496	3,154	2,811
600 ^a	2.097,8	1.892,3	1.686,9
300 ^b	1.048,9	946,2	843,4
1000 ^c	3.496,4	3.153,9	2.811,4

a - Unidades construídas

b - Unidades em construção

c - Unidades a serem construídas

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI (BRASIL, 2015), no mês de agosto de 2015, o valor da tonelada de Cimento Portland CBII foi de R\$ 430,00. Portanto, o custo estimado de 2,75 t de cimento Portland utilizado na construção de cada unidade habitacional padrão é estimado em R\$ 1.182,50.

Considerando que o único custo para utilização da cinza é o transporte, foi utilizado o valor de R\$ 0,37/t.km (DER/MG, 2015) para o transporte. Estimando a distância entre a Usina Sucroalcooleira onde ocorre a produção da cinza até o centro de Pouso Alegre em 164 km (duplicando-se esse valor para considerar o retorno vazio), o valor do frete totaliza R\$ 60,68 por tonelada. O valor do cimento e da cinza utilizados nas construções com substituição de 10 e 20 % de cimento Portland por CBCA foi calculado somando-se ao valor do cimento o custo de transporte da cinza.

A economia obtida em cada unidade habitacional atinge R\$ 107,93 quando a substituição por cinza é de 10 % e R\$ 215,81 quando a substituição é de 20 %. Considerando que o valor de uma casa de 40 m², padrão popular, é de R\$ 47.861,60 (SINDUSCON/MG – agosto de 2015), no segundo cenário, ao se construir 221 unidades habitacionais, a economia obtida será equivalente ao valor de uma unidade completa (Quadro 9).

Quadro 9. Custo estimado da substituição de Cimento Portland por CBCA, Minas Gerais, 2015

Insumo	Referência (t)	10 % cinza (t)	20 % cinza (t)
Cimento (t)	2,75	2,475	2,2
Custo Cimento (R\$/t)	R\$ 1.182,50	R\$ 1.064,25	R\$ 946,00
Cinza (t)	-	0,170	0,341
Custo Transporte de Cinza	-	R\$ 10,32	R\$ 20,69
Custo Total (cimento+cinza)	R\$ 1.182,50	R\$ 1.074,57	R\$ 987,36
Economia Obtida		R\$ 107,93	R\$ 215,81

Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 10 verifica-se a economia obtida com a substituição de cinza no cimento em cada fase do Programa “Minha Casa Minha Vida”, na cidade de Pouso Alegre (MG).

Quadro 10. Custo do cimento e da cinza de bagaço de cana-de-açúcar

Número de Unidades	Custo do cimento referência	Custo com substituição de 10 %	Economia com substituição de 10 %	Custo com substituição de 20 %	Economia com substituição de 20 %
1	R\$1.182,50	R\$1.074,57	R\$107,93	R\$966,69	R\$215,81
600 ^a	R\$709.500,00	R\$644.739,36	R\$64.760,64	R\$580.015,13	R\$129.484,87
300 ^b	R\$354.750,00	R\$322.369,68	R\$32.380,32	R\$290.007,56	R\$64.742,44
1000 ^c	R\$1.182.500,00	R\$1.074.565,60	R\$107.934,40	R\$966.691,88	R\$215.808,12

a - Unidades construídas

b - Unidades em construção

c - Unidades a serem construídas

Fonte: Elaborado pelos autores.

Conclusão

A avaliação do impacto ambiental e econômico da substituição parcial de cimento pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar na primeira fase do PMCMV, com a construção de 600 casas, pode possibilitar uma redução na emissão de CO₂, devido à substituição de cimento Portland por CBCA, de até 410,9 tCO₂, com uma economia de aproximadamente R\$129.484,87.

Caso a substituição seja aplicada na terceira fase, que construirá 1.000 novas unidades habitacionais, a redução na emissão de CO₂ devido à substituição de cimento Portland por CBCA será de até 685,0 tCO₂, com uma economia de até R\$ R\$215.808,12.

Partial replacement of Portland cement by sugar cane bagasse ash in social housing

Abstract

This paper presents a simulation of the possible reductions of greenhouse gas emissions produced by the partial replacement of Portland cement by sugarcane bagasse ash (SCBA) in social housing. Therefore, we analyzed the use of the SCBA in the construction of the “Minha Casa Minha Vida” program, in Minas Gerais state; the reductions were measured by QE-CO₂ method. CO₂ emissions of two hypothetical scenarios were evaluated based on QE-CO₂ methodology, basic level. The results demonstrate that replacement of Portland cement by SCBA can generate cost savings and, in particular, reduction on the levels of CO₂ emissions for both scenarios, showing, in this way, the possibility of using SCBA in social housing.

Keywords: Pozzolana. Carbon footprint. Clean Development Mechanism. Sustainability.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Relatório anual**. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/03/189/20121122172811763174i.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2012.
- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo: PCC/EPUSP, v. 5, 1998.
- BERNSTEIN, L.; ROY, J. (Coord.). Industry. Contribution of working group III. **Climate change 2007: Mitigation**, v. 7, p. 447-496, 2007.
- BEZERRA, A. C. S.; SARAIVA, S. L. C.; SILVA, M. V. M. S.; CASTRO, L. W. A.; GOMES, R. C.; FERREIRA, M. C. N. F.; RODRIGUES, C. S.; AGUILAR, M. T. P. Comportamento mecânico de compósitos cimentícios com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. In: **CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2014**, Guimarães: Universidade do Minho, 2014, v. 1. p. 541-549.
- BRASIL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI. **Relatórios de Insumo e Composição após Julho/2014**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2014-mg/SINAPI_Precos_Ref_Insumos_MG_082015_NaoDesonerado.pdf> 2015. Acesso em: 17 out. 2015.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. M. R. Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 39, p. 110-115, 2009.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. Estudo do processo de moagem da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando seu emprego como aditivo mineral para concreto. In: **CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL**. Brasil-NOCMAT 2004. Pirassununga, SP, Brasil, 29 de outubro – 3 de novembro, 2004.
- COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil**. 2012. Dissertação. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 2012.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE MINAS GERAIS (DER/MG). **Referencial de preços para obras rodoviárias**. Disponível em: <<http://www.der.mg.gov.br/images/2015/Custos/tabela-referencial-de-preco-de-obras-rodoviaras-310715.pdf>>. 2015. Acesso em: 17 out. 2015.
- EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. CEMBUREAU. **ACTIVITY REPORT 2014**. Disponível em: <http://www.cembureau.be/sites/default/files/Activity%20Report%202014_website_1.pdf>. Acesso em: 15 set. 2015.
- EYMARD, J. Pouso Alegre terá mais 300 moradias do Minha Casa Minha Vida. In: **POUSO Alegre, Rádio Difusora**, 16 de julho de 2014. Disponível em: <<http://www.difusorapousoalegre.com.br/noticia.php?title=pouso-alegre-recebera-mais-300-unidades-do-minha-casa-minha-vida>>. Acesso em: 17 jul. 2014.
- FGV Projetos, LCA Consultoria. **Construbussines 2010 – Brasil 2022: planejar, construir, crescer**. São Paulo: Fiesp, 2010. Disponível em: <WWW.fiesp.com.br/construbusiness>. Acesso em: 19 set. 2015.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement and Concrete Composites**, v. 29, p. 515-524, 2007.

GARTNER, E. M.; MACPHEE, D. E. A physico-chemical basis for novel cementitious binders. **Cement and Concrete Composites**, v. 41, p. 736-749, 2001.

GHAVAMI, K. Non-conventional material and technologies: applications and future tendencies. In: **The 11th International Conference on Non-conventional materials technologies**. (NOCMAT 2009), Bath, UK.

World Business Council for Sustainable Development/International Energy Agency (WBCSD/IEA) (2009). **Cement Technology Roadmap 2009. Carbon emissions reductions up to 2050**. OECD/ IEA and WBCSD. Disponível em: <www.wbcscd.org/web/projects/Cement_TechnologyRoadMap_Update.pdf>. Acesso em: 18 set. 2015.

JENNINGS, H. M.; BULLARD, J. W. From electrons to infrastructure: Engineering concrete from the bottom up. **Cement and Concrete Composites**, v. 41, p. 727-735, 2011.

MATOS NETO, J. A.; RESENDE, D. S.; SILVA NETO, J. T.; GOUVEIA, A. M. C.; AGUILAR, M. T. P.; BEZERRA, A. C. S. **Sterile Clay Pozzolans from Phosphate Mining**. **Materials Research**. 2015. v. 1, p. 1-0.

PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. **Climate change 2007**. Synthesis report, v. 104. IPCC: Geneva, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publicatinos_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm>. Acesso em: 21 set. 2015.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; DÍAZ-PINZÓN, L.; ORDÓÑEZ, L. M. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 77, p.321-325, 2002.

RESENDE, D. S.; BEZERRA, A. C. S.; GOUVEIA, A. M. C. Propriedades mecânicas de compósitos cimentícios produzidos com lodo de estação de tratamento de efluentes da indústria de batata pré-fritas. **REM. Revista Escola de Minas** (Impresso), v. 65, p. 169-174, 2012.

RESENDE, D. S.; RADISPIEL FILHO, H.; KELES, J. G.; SILVA BEZERRA, A. C.; PAULINO AGUILAR M. T.; GOUVEIA A. M. C. "Eucalyptus Chip Ashes in Cementitious Composites". **Materials Science Forum**, v. 775-776, p. 205-209, 2014.

RUIZ-SANTAQUITERIA, C.; FERNANDEZ-JIMENEZ, A.; PALOMO, A. Cementos de bajo impacto ambiental: activación alcalina de aluminosilicatos. **X CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA, 10., Y CONGRESO DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, 12.**, CONPAT 2009. Valparaíso-Chile. 2009.

SÁ, J. S.; CASTRO JÚNIOR, E.; OLIVEIRA, S. L.; BARBOSA, A. H. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar para utilização em concretos: aplicação experimental. In: IBRACON - CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 53., Florianópolis (SC). 2011. **Anais...**, 2011.

SESSA, T. C. **Avaliação da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em concreto usando construções residenciais de menor impacto**. 2013. Monografia - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 2013. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006514.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

SCRIVENER, K. L.; KIRKPATRICK, R. J. Innovation in use and research on cementitious material. **Cement Concrete**, Res. 38, n. 2, 128–136, 2008.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE MINAS GERAIS - SINDUSCON. **Custos Unitários Básicos de Construção**. Disponível em: http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/cub/tabelas/tabela_cub_agosto_2015.pdf. Acesso em: 17 out. 2015.

STACHERA, T. J.; CASAGRANDE, EFJ. Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. **ENGEMA – ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE**, 9., 2006. n. 9, v. 19, p. 13.

Histórico editorial:

Submetido em: 21/10/2015

Aceito em: 15/03/2016

Como citar:

ABNT

REZENDE, M. F.; MACHADO, F. C. S.; GOUVEIA, A. M. C.; BEZERRA, A. C. S.; GRILLO, R. H. F.; ORTIGARA, Y. V. B. Substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 1, p.87-99, jan./mar. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017914>

APA

REZENDE, M. F., MACHADO, F. C. S., GOUVEIA, A. M. C., BEZERRA, A. C. S., GRILLO, R. H. F. & ORTIGARA, Y. V. B. (2017). Substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. *Revista Agrogeoambiental*, 9 (1), 87-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017914>

ISO

REZENDE, M. F.; MACHADO, F. C. S.; GOUVEIA, A. M. C.; BEZERRA, A. C. S.; GRILLO, R. H. F. e ORTIGARA, Y. V. B. Substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. *Revista Agrogeoambiental*. 2017, vol. 9, n. 1, pp. 87-99. eISSN 2316-1817. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017914>

VANCOUVER

Rezende MF, Machado FCS, Gouveia AMC, Bezerra ACS, Grillo RHF, Ortigara YVB. Substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. *Rev agrogeoambiental*. 2017 jan/mar; 9(1): 87-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017914>