UTILIZAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA PRODUÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL

Kenyson Diony Souza SILVA[1*]; **Fabiano Medeiros da COSTA[2]**; **Raduan Krause LOPES[2]; Laura Monica Braga RIBEIRO[3]; Jayne Carlos PIOVESAN[3]**

1. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil; 2. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil; 3. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil; 3. Centro universitário são Lucas, Porto Velho, Brasil
*Autor Correspondente: kenysondiony@hotmail.com.

RESUMO: As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) são resíduos gerados em usinas de açúcar, que mesmo não possuindo caráter fertilizante, seu destino final, em geral, são as lavouras. A utilização destas cinzas em compostos cimentícios promove um destino mais nobre a esse produto, não sendo o meio ambiente. Este ensaio teórico teve como objetivo avaliar o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland em concretos, que depende de dois fatores: sua constituição química e as possíveis mudanças produzidas no cimento com seu uso. Utilizando fontes bibliográficas para realização da pesquisa, observou-se que as CBC são compostas predominantemente por dióxido de silício (SiO_2), e o tempo e sua temperatura de queima influenciam na presença e variação de alguns elementos químicos. Através da análise química da CBC e a verificação do seu uso no cimento, observou-se a possiblidade de substituir em 20%, ou até mesmo em 30% desde que não seja exigida a mesma resistência do cimento. Diante da larga demanda por cimento no Brasil e a grande produção de CBC nas usinas, tal substituição para produção do concreto pode trazer vantagens econômicas, sociais e ambientais à sociedade. Ainda que os resultados sejam satisfatórios, a viabilidade do seu uso depende de estudos mais aprofundados sobre o tema.

PALAVRAS-CHAVE: Cinzas. Materiais pozolânicos. Produção sustentável.

INTRODUÇÃO

Diante do acelerado processo de desenvolvimento em que se encontram o Brasil e o mundo, produção sustentável é um tema que cada vez mais adquire relevância no cenário mundial, já que o elevado crescimento populacional que acompanha esse desenvolvimento resulta em grande consumo de recursos naturais. A construção civil é um dos setores que mais impulsiona o desenvolvimento da sociedade, porém, simultaneamente, é também um dos mais agressivos ao meio ambiente. É responsável pelo consumo de 40% dos recursos naturais extraídos no globo e 5% da emissão de gás carbônico (CO_2) na atmosfera (CORDEIRO, 2006). A falta de políticas de sustentabilidade pode ser uma das origens dessa problemática.

Dentre os principais materiais utilizados na construção civil, destaca-se o concreto, composto basicamente de cimento Portland, agregados naturais e água em diferentes composições e formas.

O cimento, elemento básico do concreto, é composto predominantemente por clínquer, produto de uma indústria que, além de consumir grande quantidade de energia, é responsável pela emissão de enormes quantidades de CO_2, além de outros gases que intensificam o efeito estufa em proporções menores. Malhotra (2002) estima que aproximadamente 7% de todo

CO_2 antrópico produzido no mundo é devido à produção de cimento Portland, o que representa aproximadamente 1,4 bilhões de toneladas por ano.

Para cada tonelada de clínquer produzido, é consumida 1,7 tonelada de matéria-prima, basicamente composta de calcário e argila, e é lançado na atmosfera cerca de 870 kg de CO_2. Esse gás é gerado pelas indústrias cimenteiras durante a calcinação do calcário e queima de combustíveis fósseis utilizados no processo de fabricação do clínquer. Considerando o constante crescimento do uso de cimento em países desenvolvidos e em subdesenvolvimento, há uma tendência de aumento nas taxas de emissão dos gases intensificadores do efeito estufa associados à produção de cimento (MALHOTRA, 1999). Dessa forma, o grande desafio das indústrias é produzir cimento de menor impacto ambiental sem deixar de atender as necessidades do seu consumidor, priorizando um desenvolvimento tecnológico (PÁDUA, 2012).

Uma das visões de produção sustentável, trata da análise do uso da cinza proveniente do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), como substituto parcial do cimento em concretos. É uma inovação promissora para o Brasil, país que ocupa o primeiro lugar na produção de cana-de-açúcar no mundo, chegando a gerar anualmente cerca de 47 milhões de toneladas de bagaço. De acordo com Pereira *et al.*, (2016), para cada tonelada de bagaço, são produzidos 25 kg de CBC, oriunda da queima do bagaço com fins de produção de energia elétrica.

Este ensaio teórico pretende analisar a viabilidade técnica e ambiental da produção de concreto com substituição parcial do cimento pela CBC, com base em estudos desenvolvidos no Brasil.

CIMENTO PORTLAND

Cimento Portland é a denominação convencionada para o material usado na construção civil, comumente conhecido como cimento. Foi descoberto por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. O produto recebeu esse nome devido ser semelhante em cor e dureza à pedra de Portland, uma ilha situada no sul da Inglaterra (BOLETIM TÉCNICO, 2002).

De acordo com Lima e Myrrha (2003, p. 97),

> (...) trata-se de um pó fino, com propriedades aglomerantes que em contato com a água forma uma pasta ligante. Após ser endurecido não se decompõe mais, mesmo que à ação da água. Devido apresentar essa característica particular, é o principal produto da construção civil.

A NBR 5732/1991 define o Cimento Portland Comum como: aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados.

O cimento Portland é um material pulverulento, composto de silicatos e aluminatos de cálcio com inúmeras propriedades e características. Quando misturados com água, hidratam-se e formam uma pasta ligante, permanecendo maleável por cerca de 1,5 hora. Em seguida, endurecem, sendo capazes de desenvolver elevada resistência mecânica ao longo do tempo. É caracterizado também, como um ligante hidráulico, ou seja, significa que além de endurecer ao ar, também endurece dentro de água, tendo ainda capacidade de manter a resistência ao longo do tempo nos dois ambientes.

PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND

O processo é fundamentalmente constituído por três partes: extração e preparação da matéria-prima, cozedura e moagem. Assim, o cimento se origina nas minas de calcário, onde ocorre o desmonte da rocha e o minério é extraído e levado para ser industrializado. Na usina, ele passa pela britagem e peneiramento para adquirir granulometria uniforme e, em seguida, é realizada a dosagem nos silos dosadores, que consiste na mistura de calcário, argila e minério de ferro em proporções adequadas. Em seguida, este conjunto de materiais é calcinado até fusão incipiente, a uma temperatura de 1.450ºC em um forno rotativo, onde, então, sílica, alumina, ferro e cal reagem no interior do forno, dando origem ao clínquer.

Esse material é resfriado rapidamente e moído até tornar-se um pó fino, e então é adicionada uma pequena quantidade de sulfato de cálcio ($CaSO_4$) finamente moído e os aditivos necessários para que o cimento adquira as propriedades desejadas, concluindo, assim, a última etapa da produção do cimento. A adição de sulfato de cálcio, comumente conhecida como gipsita, realizada após a clinquerização (em torno de 4%) tem a função de prolongar o tempo de início da pega do cimento (MACEDO, 2009).

De acordo com Cordeiro (2006), além da gipsita, são adicionados materiais corretivos ao clínquer. Posteriormente, o composto é moído até uma granulometria em média inferior à 75 μm (NEVILLE, 1997). A finalidade dos materiais corretivos, como areia, bauxita e minério de ferro, é suprir o clínquer de elementos não disponíveis nas matérias-primas

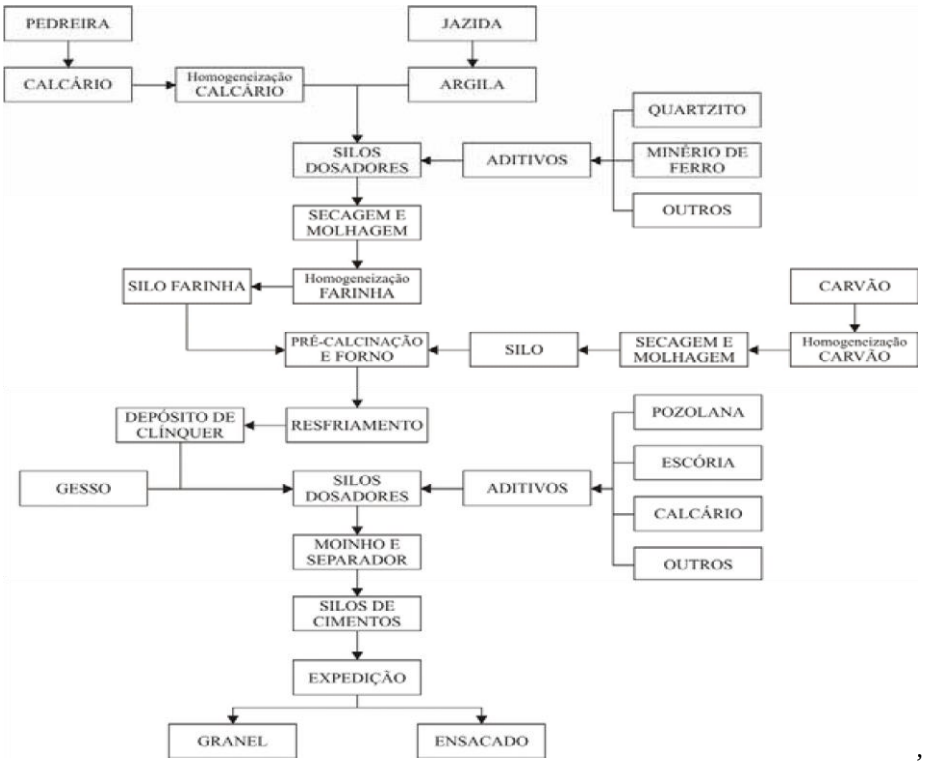
principais. A homogeneização e moagem das matérias-primas podem ser realizadas por dois processos distintos, são eles: em água (via úmida) e a seco (via seco). Porém, devido ao elevado consumo energético da via úmida para eliminar a água, é pouco utilizada atualmente. Com o término da moagem, o cimento é acondicionado em silos até a expedição final.

O produto final (cimento) é apresentado como o resultado das misturas que acontecem nos silos dosadores das fábricas. O componente principal dessas misturas é o clínquer Portland, de composição química e cristalina, das quais derivam as propriedades aglomerantes e hidráulicas do cimento. Assim, produzindo variados tipos de cimento, cada qual com características específicas de aplicação.

As diferentes proporções e tipos de aditivos inseridos nos cimentos, realizadas nos silos dosadores, são em função do tipo de cimento que se deseja produzir, tendo em vista que existem onze tipos de cimentos no mercado brasileiro. A maneira na qual o produto final é armazenado nos depósitos para a expedição - granel ou ensacado - está relacionado com o tipo de consumidor.

O fluxograma a seguir, apresenta o processo de fabricação de cimento Portland descrito acima por via seco, para melhor compreensão das etapas de produção. Nele, constam todas estas etapas, desde a saída da matéria-prima das jazidas, até sua expedição.

Figura 01: Fluxograma básico de produção de cimento Portland por via seca. Fonte:



Neville (1997).

TIPOS DE CIMENTO PORTLAND

Segundo Paula (2006), ao se iniciar uma construção, é necessário fazer a escolha de qual cimento é mais conveniente para uso, pois estão disponíveis no mercado diversos tipos com hidratação, consistência e resistência que diferem entre si. Essa diferença está na composição química, entretanto, todos aderem às exigências das Normas Técnicas Brasileiras. A finalidade do uso e o tipo de construção determinam qual cimento deve ser escolhido. No quadro 1 a seguir, está a classificação dos cimentos com suas respectivas siglas e normas técnicas os controla de acordo Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Quadro 1- Classificação do Cimento Portland

NOME	SIGLA	NORMA
Cimento Portland Comum	CP I	NBR 5732
Cimento Portland Comum com Adição	CP I-S	NBR 5732
Cimento Portland Composto com Escória	CP II-E	NBR 11578
Cimento Portland Composto com Pozolana	CP II-Z	NBR 11578
Cimento Portland Composto com Fíler	CP II-F	NBR 11578
Cimento Portland de Alto-Forno	CP III	NBR 5735
Cimento Portland Pozolânico	CP IV	NBR 5736
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	NBR 5733
Cimento Portland Resistente a Sulfatos	RS	NBR 5737
CimentoPortland de Baixo Calor de Hidratação	BC	NBR 13116
Cimento Portland Branco	CPB	NBR 12989

Fonte: Elaborado pelo Autor com base em Paula, 2006 e ABCP, 2016.

Tendo em vista os onze tipos de cimentos apresentados no quadro exposto, a análise de suas características e propriedades para a aplicação na obra é de fundamental importância, pois alguns são deles são específicos para determinados fins, enquanto outros são restringidos à alguns.

COMPOSIÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

O cimento é composto pela mistura do clínquer formado a partir do óxido de cálcio (CaO) extraído da pedra calcária ($CaCO_3$) e argila, com as adições incorporadas

posteriormente à calcinação. Quantitativamente, o clínquer é o maior elemento, sendo ele o ligante hidráulico responsável pela forma pastosa do cimento. Com adição de água e após secar, se torna duro e resistente (PAULA, 2006).

Segundo Martins *et al.* (2010) o calcário é a matéria-prima básica do clínquer, constituído basicamente de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e, dependendo de sua origem geológica, pode conter várias impurezas como magnésio, silício, alumínio e ferro. Para melhorar a qualidade do clínquer, o calcário recebe algumas correções complementares de argila, material arenoso e minério de ferro.

As adições inseridas no cimento são definidas de acordo a NBR 11172/90 como produtos de origem mineral adicionados aos cimentos, argamassas e concretos, com a finalidade de alterar suas características. As principais adições minerais usadas em argamassas e concretos são: sílica ativa, metacaulim, escória de alto forno e cinza volante.

A sílica ativa é um subproduto industrial do processo de produção das ligas de ferrosilício ou silício metálico em grandes fornos elétricos de fusão, do tipo arco voltaico. O metacaulim é uma adição mineral alumino-silicosa proveniente da calcinação de argilas cauliníticas ou de argilas especiais como o caulim de alta pureza (CARMO; PORTELLA; VALDUGA, 2007).

A escória de alto forno é um resíduo da produção de ferro gusa em alto forno. Em siderúrgicas que operam altos fornos a carvão de coque são geradas aproximadamente 300 toneladas de escória por tonelada de ferro gusa. Altos fornos que utilizam como combustível carvão vegetal a geração de escória é inferior a este valor (JOHN, 1995).

Segundo Macedo (2009), a cinza volante, pozolona mais empregada na fabricação do cimento, é um subproduto originado da queima de carvão mineral para a produção de energia elétrica, principalmente das usinas termoelétricas.

Dal Molin (2005) salienta que a eficiência de uma adição mineral pode variar em função da quantidade utilizada, das condições de cura, da composição química, mineralógica e granulométrica. O autor ainda afirma que o uso de adições minerais na construção civil é um importante exemplo de prática sustentável, na qual as adições minerais normalmente utilizadas são resíduos provenientes de outras indústrias, os quais seriam descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando riscos de contaminação do solo e fontes de água.

As adições minerais podem ser utilizadas tanto no processo de fabricação do cimento, substituindo parte do clínquer, como em argamassas e em concretos. No Brasil, a prática mais

aplicada é a primeira citada acima por trazer inúmeras vantagens. Do ponto de vista técnico, as adições minerais podem melhorar a qualidade do concreto. Tecnicamente, elas têm custos e preços menores quando comparadas ao cimento Portland ou ao clínquer Portland (SILVA, M. G., 2007).

Há também as justificativas relacionadas à sustentabilidade da construção civil. A incorporação de adições minerais como escórias e pozolanas pode reduzir o consumo de energia além de diminuir substancialmente a produção de gás carbônico para a produção de cimentos (DAL MOLIN, 2005).

MATERIAIS POZOLÂNICOS

Segundo Neville (2016), os materiais pozolânicos são naturais ou artificiais que contém dióxido de silício em forma reativa que, por si só, quase não apresentam propriedades hidráulicas. No entanto, quando moídos e com presença de umidades, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio para formar compostos com propriedades cimentícias.

A esse respeito, Netto (2006, p. 14) declara:

> Pozolana é um material natural ou artificial que contém sílica em forma reativa. Numa definição mais formal segundo a NBR 12653/1992, a exemplo da definição dada pela American Society for Testing and Materials (ASTM), em sua norma C 125-03, pozolanas são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.

Portanto, pode-se observar que a definição e classificação dos seus tipos são definidas e especificadas pela norma NBR 12.653/92.

CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-ACUÇAR (CBC) COMO POZOLANA

O Brasil é atualmente o maior produtor no complexo sucroalcooleiro do mundo, produzindo cerca de 47 toneladas de bagaço da cana-de-açúcar anualmente que, devido seu poder calorífero, é utilizado para cogeração de energia por meio da queima em caldeiras, tendo como produto final as cinzas residuais (LIMA *et al.*, 2009; PAULA, 2006).

Segundo Peinado *et al.* (2013) e Nunes *et al.* (2008), por várias décadas essas cinzas foram despejadas em lavouras para atuar como adubos. Porém, pesquisas recentes indicam que elas não apresentam nutrientes minerais adequados para essa função, pois no processo de queima essa matéria orgânica perde toda a sua capacidade de fertilização.

De acordo com Lima *et al*. (2011) e Souto (2010), constatada a ineficácia da CBC como adubo, diversos estudos estão sendo executados para verificar a utilização da mesma como substituição parcial do Cimento Portland ou da areia no preparo do concreto. Lima *et al*. (2010) afirma ser possível já que a CBC apresenta alto teor de dióxido de silício (SiO_2), normalmente acima de 60% em massa, atribuindo-lhe caráter pozolânico.

Sua viabilidade depende ainda de verificações e novos estudos que analisem diversos fatores como tempo e temperatura de queima e condição de moagem da CBC. Entretanto, já se pode considerar o ganho ambiental e econômico que é produzido com esse novo destino dado à CBC, pois pode amenizar a agressão ao meio ambiente, com a diminuição do uso de matéria-prima para fabricação do cimento, além da redução de emissão de seus resíduos. Dessa forma, o que era um problema de estocagem para as empresas, pode se tornar uma fonte rentável (HOJO e MARTINS, 2015).

EXTRAÇÃO E ESGOTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

O aumento da população mundial e a demanda por melhoria da qualidade de vida têm levado à extração de recursos não renováveis e à poluição ambiental de forma descontrolada. As reservas de fosfato no mundo que podem ser exploradas a baixo custo são suficientes para 40 a 100 anos e as reservas mundiais de potássio são suficientes para 50 a 200 anos. A situação é pior para os micronutrientes, em que as reservas de cobre e zinco são suficientes para 60 anos, manganês para 35 anos e selênio para 55 anos (Aaron, 2005).

Não distante disso, encontra-se a exploração das matérias-primas para fabricação do cimento. A produção de cimento está em plena expansão mundial. Em relação ao Brasil, estima-se que em 2010 o mercado alcançou a casa de 59,121 milhões de toneladas de cimento produzidos, batendo recordes de vendas e com um aumento de 14,8% em relação ao ano anterior. Com isso, as empresas cimenteiras estão investindo pesado na criação e modernização de novas plantas (Fonte SNIC). Considerando que o produto é composto de 75-80% de calcário, só em 2010, foram extraídos cerca de 45,818 milhões de toneladas de calcário das jazidas brasileiras. Além disso, deve-se levar em consideração que, mesmo diante de significativas reservas de calcário no país, pequena parte dela encontra-se disponível para fabricação do cimento, devido ao fato da maior parte apresentar elevados teores de impurezas.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável diz respeito ao modo de evolução que tem como alvo o alcance da sustentabilidade. De acordo com o Guia de Sustentabilidade na Construção (CIC/FIEMG, 2008), o desenvolvimento sustentável trata do processo de manutenção do equilíbrio entre a capacidade do ambiente e as demandas por igualdade, prosperidade e qualidade de vida da população humana.

Segundo a definição cunhada em 1987 pela Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento, o desenvolvimento sustentável é o tipo de desenvolvimento que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades.

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, juntamente com a Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura e outras instituições, apresenta uma série de princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais se destacam:

- Aproveitamento de condições naturais locais.
- Utilizar mínimo de terreno e integrar-se ao ambiente natural.
- Não provocar ou reduzir impactos no entorno.
- Gestão sustentável da implantação da obra.
- Uso de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo.
- Redução do consumo energético.
- Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos.
- Educação ambiental – conscientização dos envolvidos no processo.

A visão de construção sustentável deve estar presente em todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde sua concepção até sua requalificação, desconstrução ou demolição.

Sob o prisma da sustentabilidade, materiais e resíduos devem ser tratados conjuntamente, pois a correta seleção e utilização de materiais reduzem a geração de resíduos. Além disso, o beneficiamento de resíduos de outros setores sendo utilizados na produção do cimento, pode reduzir significativamente os impactos por ela ocasionados (FONSECA, 2010).

No processo de seleção de materiais e fornecedores adequados com as premissas da sustentabilidade, o Guia de Sustentabilidade na Construção (CIC/FIEMG, 2008) recomenda a adoção de materiais locais, reutilizáveis, recicláveis ou reciclados. Dentre estes, pode-se destacar não somente o cimento Portland composto com escória ou outros produtos minerais reaproveitáveis, como também as adições minerais aplicadas diretamente ao concreto.

MATERIAL E MÉTODO

Esta pesquisa é de cunho teórico, do tipo bibliográfica, desenvolvida através de buscas em três sites de publicações científicas e livros: Google Acadêmico, Periódicos Capes e Scielo. Baseou-se em um universo de livros, artigos, dissertações, teses e normas.

O material utilizado como lócus do estudo foi categorizado de acordo com os percentuais de substituição da cinza do bagaço pelo cimento, cujos resultados serão apresentados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise do material utilizado, foram encontrados diferentes traços de substituição de cimento por CBC: Cordeiro (2006) - 20%; Paula (2006) - 20%; Pádua (2012) - 10%; Poggiali (2010) - 20%; Nunes *et al*. (2008) - 13%. Dentre outros fatores, essa variação é decorrente da granulometria da CBC usada e das condições de queima de cada usina para obtenção das cinzas. Pode-se sugerir como melhor possibilidade a substituição de 20% do cimento pela CBC. O mesmo processo pode ser feito com 30%, porém, a resistência final do concreto será menor. Não foram encontradas desvantagens em relação a tal substituição, desde que seja respeitada a porcentagem máxima de 30% de troca em massa do cimento.

As cinzas podem ser classificadas como pozolanas por superarem o valor mínimo de atividade pozolânica (75%), estabelecido pela NBR 5.752 de 1992.

Em suas pesquisas, Paula (2006), lista os diversos benefícios que a produção sustentável de concreto com a utilização da CBC pode trazer ao meio ambiente.

> A reciclagem destes materiais apresenta inúmeras vantagens, dentre elas: uma redução no volume de resíduos destinados a aterros sanitários e, consequentemente, uma diminuição no risco de contaminação do meio ambiente; redução do volume de extração de matéria-prima necessária à produção de materiais para a construção, preservando, assim, os recursos naturais não renováveis. Além disso, diminui significativamente a liberação de CO_2 para a atmosfera, gerado em grande quantidade durante a produção do cimento Portland e da cal, tanto pela queima do combustível quanto pela descarbonatação da rocha calcária (p. 2).

Teodoro *et al.* (2014) realizaram a substituição de 15% de cimento por CBC no estado de Mato Grosso do Sul e observaram que, essa porcentagem de substituição promoveria uma diminuição de emissão de CO_2 em, aproximadamente, 53,5 kilotoneladas por ano apenas nesse estado. Já no Brasil, em cenário idêntico, pode-se atingir cerca de 3.162,76

kilotoneladas de CO_2 a menos sendo liberada na atmosfera anualmente. Os cálculos foram realizados considerando a produção de cimento no ano do estudo.

Hojo & Martins (2015) encontraram um traço de 7,5% de substituição, o qual apresentou uma resistência semelhante ao concreto sem substituição. Nos seus estudos, observaram também que essa substituição reduziu o consumo de cimento de 367 kg/m^3 para 339 kg/m^3 e o custo em R$ 15,72.

Os dados mencionados demonstram o quanto a produção de cimento influencia na emissão dos gases causadores do efeito estufa, representando cerca de 7% do total produzido no mundo. Juntamente à essa poluição ambiental está também a grande quantidade de calcário extraído das jazidas para suprir a demanda de produção do segundo produto mais utilizado no mundo. Vale lembrar que as matérias-primas do cimento, quase que em sua totalidade, são de fontes não renováveis, logo, esses produtos podem se tornar escassos futuramente.

Outro dado importante refere-se à disponibilidade de matérias-primas do cimento no Brasil. O país possui reservas relativamente pequenas de calcários e destas, apenas uma pequena parte encontra-se em condições adequadas para a fabricação de cimento por apresentarem elevado grau de impurezas em sua constituição, diminuindo mais ainda a possibilidade de utilização destas reservas.

Observou-se, por fim, que há a possibilidade de ganho econômico na produção do concreto com utilização do CBC, não sendo, entretanto, o objeto deste estudo.

CONCLUSÃO

Percebeu-se, ao final da pesquisa que a CBC pode substituir parcialmente o cimento Portland na produção do concreto por apresentar, entre outros atributos, um alto índice de pozolanicidade, o qual é caracterizado pela sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento. Dos estudos analisados, pode-se inferir que a margem de substituição do cimento por CBC deve variar entre 20% a 30%, uma vez que a resistência mecânica do concreto obtida é semelhante à resistência do concreto sem substituição.

A utilização da CBC para fabricação de cimento contribui de forma quádrupla para a sustentabilidade do planeta. Na medida em que tal prática pode agregar valor às cinzas, promove a diminuição do consumo de recursos naturais e de emissão de CO_2, contribuindo para uma geração de menor quantidade de resíduos de construção e demolição. Ademais,

além do ganho ambiental da redução de emissão de CO_2, há o reaproveitamento de resíduos gerados nas indústrias - as cinzas, que são depositados no meio ambiente, sem nenhum tratamento, e que podem receber um destino mais nobre, agregando valor ao produto.

Assim, uma produção sustentável deve ter como princípio a prevenção e redução dos resíduos pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, com uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis. E o uso da CBC em compostos cimentícios apresenta-se como uma alternativa viável para uma redução do uso de recursos naturais e da poluição atmosférica.

Embora existam atualmente grandes empresas com sofisticados equipamentos, tanto para a extração do calcário e argila quanto para sua industrialização e produção do clínquer, esse processo ainda possui um elevado custo financeiro. A substituição de cimento por CBC em larga escala reduziria significativamente o consumo de matéria-prima, o custo da produção e ainda o valor da obra onde seria empregado.

Apesar da relevância técnica e ambiental, ainda são escassos os estudos sobre essa temática. Deve-se analisar, também, os benefícios econômicos e sociais que esse modelo de produção pode trazer, atendendo assim outros aspectos do desenvolvimento sustentável. Além disso, pesquisas que visam um desenvolvimento e produção sustentáveis (em qualquer setor, principalmente na construção civil, um dos que mais agride o meio ambiente), são dignas de mais investimentos e devem ser vistas com mais importância, principalmente pelo setor público.

USE OF GRASS OF SUGAR CANE BAGGAGE IN SUSTAINABLE CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT: The ashes of sugarcane bagasse (CBC) are waste generated in sugar mills, which even not possessing character fertilizer, your final destination, in General, are the crops. The use of such ashes in cementitious compounds promotes a nobler destiny to that product, not the environment. This theoretical test aimed to assess the potential of the ash of the sugarcane bagasse as a partial replacement of Portland cement in concrete, which depends on two factors: your chemical Constitution and possible changes produced in cement with your use. Using bibliographic sources for research achievement, it was observed that the CBC are composed predominantly of silicon dioxide (SiO_2), and the time and your burning temperature influence the presence and variation of some chemical elements. Through chemical analysis of the CBC and the verification of your use in cement, the possibility of replacing in 20%, or even 30% as long as it's not required the same cement resistance. On the large demand for cement in Brazil and the great CBC production in plants, such replacement for concrete production can bring economic, social and environmental benefits to society. Even if the results are satisfactory, the viability of your use depends on deeper studies on the topic.

KEYWORDS: Ashes. Pozzolanic materials. Sustainable production.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Materiais pozolânicos.** NBR 12653. RJ, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Materiais pozolânicos –** Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias*:* NBR 5752, 3 ed. RJ, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Aglomerantes de origem mineral.** NBR 11172. RJ, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Cimento Portland comum –** NBR 5732, RJ, 1991.

AARON, S. **Some statistics on limited natural resources.** 2005. Disponível em: <kttp://scotaaron.com/resources2.html>. Acesso em: 05/10/2017.

BOLETIM TÉCNICO, **Guia Básico De Utilização Do Cimento Portland.** Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. Disponível em: < http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf> Acesso em 27 Nov. 2016.

CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F.; VALDUGA, L. **Análise comparativa de concretos compostos com sílica ativa e metacaulim**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.v.1, capítulo 12, p. 345-380.

FONSEICA, G. C. da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no brasil: uma abordagem epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) -UFMG, Belo Horizonte, MG, 2010.

HOJO, L. Y. C. P., MARTIS, C. H. **Utilização da substituição parcial do cimento por cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar em concretos**. Ed. 01, 2015. Disponível em: <http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1135/515> Acesso em 28 Nov. 2016.

JOHN, V.M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, SP, 1995.

LIMA, M. A., MYRRHA. SOLO-CIMENTO PARA FINS CONTRUTIVOS. In: FREIRE, W. J., BERALDO, A. L., **Tecnologia E Materiais Alternativos De Construção**. Campinas, ed. Unicamp, Cap. 4, p.97, 2003.

LIMA, S. A., et al. **Análise De Argamassas Confeccionadas Com a Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Em Substituição Ao Agregado Miúdo.** Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 87-97, 2009.

LIMA, S. A., et al. **Caracterização De Concretos Confecionados Com Cinza Do Bagaço da Cana-De-Açúcar**. VI Congresso Internacional Sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Cinpar, Jun., Córdoba, 2010.

LIMA, S. A., et al. **Concretos Com Cinza Do Bagaço da Cana-De-Açúcar: Avaliação da Durabilidade por Meio de Ensaios de Carbonatação e Abrasão.** Rev. Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 201-212, abr./jun., Porto Alegre, 2011.

MALHOTRA, V. M. "**Introduction: sustainable development and concrete technology**", Concrete International, v. 24, n. 7, pp. 22. 2002.

MALHOTRA, V. M. "**Making concrete 'greener' with fly ash**", Concrete International, v. 21, n. 5, pp. 61-66. 1999.

MARCEDO, P. C., **Avaliação Do Desempenho De Argamassas Com Adição De Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açúcar**. Dissertação (Mestrado em Estruturas), UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Ilha Solteira, 2009.

MARTINS, et al., **Cimento**. Curitiba, Abr. 2010. Disponível em: < https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1276.pdf> Acesso em 25 Nov. 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828 p.,1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades Do Concreto**. ed. 5, Porto Alegre, Bookman, 2016.

NETTO, R. M., **Materiais Pozolânicos**. Monografia (Especialização em construção civil) – Escola de engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2006.

NUNES, I. H. S., et al. **Estudo Das Características Fisicas E Químicas da Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Para Uso Na Construção.** Revista Tecnológica, v. 17, p. 39-48, 2008.

PÁDUA, P. G. L. de. **DESEMPENHO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS FABRICADOS COM CIMENTOS ADITIVADOS COM CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR *IN NATURA* E BENEFICIADAS,** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – UFMG, BH, 2012.

PAULA, M. O., **Potencial Da Cinza Do Bagaço da Cana-De-Açúcar Como Material De Substituição Parcial De Cimento Portland.** Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae), UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Viçosa, 2006.

PEINADO, H. S., et al. **Uso Da Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açúcar Como Agregado Em Concretos E Argamassas.** IX Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. ENTECA, out. 2013.

PEREIRA, A. M. et al. **ANÁLISE MICROESTRUTURAL DO POTENCIAL DAS CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATERIAL POZOLÂNICO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS,** Natal, p. 3029-3041, 06-10 nov. 2016. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**.**

POGGIALI, F. S. J., **Desempenho De Microconcretos Fabricados Com Cimento Portland Com Adições De Cinza De Bagaço De Cana-De-Açúcar**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2010.

SILVA, M. G. **Cimentos portland com adições minerais**. In: ISAIA G. C. (Ed). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, v.1, capítulo 23, p. 761-793, 2007.

SOUTO, J. M. F., **Avaliação Do Desempenho da Cinza do Bagaço de Cana-De-Açúcar na Produção de Concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, Maringá, 2010.

TEODORO, P. E. et al. **Estimativa da taxa de redução de CO_2 de concretos produzidos com cinzas resíduas de bagaço de cana- de-açúcar**. Revista de ciência exatas e tecnologia. v.8, n.8, p. 173-179, 2013.