

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Curso de Especialização: Produção e Gestão do
Ambiente Construído

Bryan Getúlio Quirino

POTENCIALIDADE DA CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND NO CONCRETO

Belo Horizonte,
2017

BRYAN QUIRINO

**POTENCIALIDADE DA CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR
EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND NO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Prof.^a Maria Teresa Paulino Aguilár

**Belo Horizonte,
2017**

DEDICATÓRIA

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, primeiramente, a Deus, pois sem Ele eu não teria forças para essa longa jornada.

Aos meus professores e aos meus colegas que me ajudaram na conclusão da monografia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, Aquele que permite que todas as coisas se concretizem. Em segundo lugar agradeço a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente, contribuem para a construção dos meus valores: meus familiares, os professores do passado e todos os que compartilharam um pouco do que sabem comigo no período da Especialização e com os meus amigos nesta vida acadêmica.

Agradeço ao meu amigo Bruno Luiz pelo companheirismo no decorrer do curso, aproveito para parabenizá-lo pelo admirável respeito e pela conduta responsável que possui no seu cotidiano.

Ao amigo Pedro Resende, o meu muito obrigado pelas experiências compartilhadas.

Ao meu amigo Marlon Cristiam, pela sua ajuda e disponibilidade, o meu mais sincero agradecimento.

*“Descobrir consiste em olhar para o
que todo mundo está vendo e pensar uma
coisa diferente.”*

(Roger Von Oech)

RESUMO

Tornou-se um grande desafio para o setor da construção civil a procura por materiais que possam ser alternativos, materiais que degradam menos na sua extração e que assim poluam menos. O presente trabalho demonstra através de testes de compressão axial o uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial da quantidade de cimento Portland no concreto. Primeiramente foi feita a queima e a caracterização da cinza para obter um material com finura próximo a do cimento. Determinado o traço referência e feito concretos com a utilização de cana-de-açúcar em proporções de 10%, 15% e 20% de substituição de cimento Portland, analisou-se a influência desta cinza na resistência aos 03, 07, 14 e 28 dias. Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão mostraram que a cinza pode se tornar uma alternativa se usada em proporções adequadas.

Palavras-chave: Concreto. Cana-de-açúcar. Construção civil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Bagaço da cana-de-açúcar secando	14
Figura 02 – Peneirador usado na caracterização granulométrica.....	15
Figura 03 – Cinza de cana-de-açúcar e cimento Portland.....	16
Figura 04 – Resistência à compressão das amostras ensaiadas – Evolução.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dosagem dos concretos.....	14
Tabela 02 – Resultados obtidos através do ensaio de resistência á compressão.....	15

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Cimento Portland.....	14
3.2. Produção do cimento Portland.....	15
3.2.1. Dosagem, secagem e homogeneização das matérias primas.....	15
3.2.2. Clinquerização.....	16
3.2.3. Mineralogia do clínquer.....	17
3.2.4. Adições finais e moagem.....	17
3.3. Materiais pozolânicos.....	18
3.3.1. Adições pozolânicas.....	19
3.3.2. Influência dos materiais pozolânicos.....	20
3.3.3. Tipos de adições pozolânicas.....	20
3.4. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar.....	21
3.5. Estudos com cinza do bagaço de cana-de-açúcar.....	22
4. METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DE DADOS.....	23
5. METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
9. ANEXOS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o composto de maior significância no setor da construção civil que tem como constituinte o cimento Portland, componente essencial para a produção de concretos e argamassas. O emprego de misturas que contêm água, agregados e aglomerantes são usadas na confecção de estruturas, desde muito tempo. As principais características do concreto e a facilidade de execução garantem o uso deste importante material em diversas aplicabilidades e obras. (CORDEIRO, 2006)

De acordo com Centro Nacional de Informações sobre Minerais (USGS National Minerals Information Center) a produção de cimento Portland no ano de 2016 no mundo chegou a 4,2 bilhões de toneladas. No mesmo ano, o Brasil produziu 60 mil toneladas de cimento ocupando a oitava colocação do ranking geral.

Visando suprir o consumo de concreto com o passar dos anos, o aumento da produção de cimento mundial ocasionou vários efeitos calamitosos, principalmente com prejuízo ao meio ambiente devido à expansão da extração de matéria-prima, calcário e argila, e da emissão de CO₂ para produção do principal componente do cimento, o clínquer. A emissão de CO₂ da produção do clínquer equivale 7% da quantidade de dióxido de carbono presente na atmosfera (MALHOTRA, 1996). Estudos estimam que, na produção de uma tonelada de clínquer, seja produzida uma tonelada de CO₂, colaborando com uma significativa parcela para o efeito estufa existente no planeta.

Diante desta evidência, há uma problemática a ser encarada pelas cimenteiras e a indústria de concreto nos dias atuais, que se traduz na coexistência do desenvolvimento tecnológico da produção do cimento e em paralelo a preservação do meio ambiente, principalmente pelos problemas relativos à extração de matéria-prima. Alguns estudos indicam a substituição de parte do cimento por resíduos de outros setores industriais ou agrícolas, resíduos estes que podem ser empregados como materiais cimentícios (CORDEIRO e BARROSO, 2011).

A busca para gerar energia a partir de fontes renováveis vem consideravelmente estimulando a produção de álcool etanol a partir da cana-de-açúcar. O Brasil tornou-se o maior país produtor de açúcar e álcool e um dos maiores exportadores mundial de açúcar.

A produção do Brasil em conjunto com a da Índia, segundo maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, compreende mais da metade da produção mundial. Fato este que se torna relevante quando se considera os ganhos das possíveis expansões da produção de cana. (FAO, 2016)

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, IBGE, no Brasil a cana-de-açúcar é a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área, bem atrás da soja e de milho, devido à excelente eficiência de conversão fotossintética da cana, que permite uma produtividade excepcional, em torno de 75 t/ha em média. (IBGE, 2009)

No processo de extração do caldo da cana-de-açúcar é produzida grande quantidade de bagaço, em torno de 30% da cana moída, que é uma biomassa de grande importância como fonte energética. Cerca de 95% de todo o bagaço gerado no Brasil são destinados ao processo de queima em caldeiras para geração de vapor que por consequência do processo, gera como resíduo, a cinza de bagaço, cujo o descarte não obedece, em sua maior parte, as práticas corretas, podendo-se tornar um sério problema ao meio ambiente. (CORDEIRO et al., 2008)

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) é basicamente constituída de sílica, SiO₂. Por esta característica ela tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos, segundo Cordeiro (2008).

O uso de resíduos produzidos por outros setores da economia pelo setor da construção civil é sempre vantajosa não apenas pelo aumento da atividade industrial e, conseqüentemente, de subprodutos, mas, sobretudo, devido à redução de matérias-primas não renováveis, tão necessárias às atividades da construção civil (MALHOTRA e MEHTA, 1996).

De acordo com Savastano (2003) grande parte dos resíduos que são produzidos por outros setores da economia pode ser reutilizada e incorporada pelo setor da construção civil, de forma a gerar novos materiais para a construção civil e atender à crescente demanda por materiais mais eco-eficientes e econômicos.

Desta forma, estudos relativos à aplicação da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral são de suma importância, pois podem viabilizar a produção de novos concretos e reduzir os impactos ambientais associados à disposição incorreta dos resíduos.

Ante o exposto, este trabalho tem por objetivo principal avaliar a resistência mecânica de concretos com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar substituindo parcialmente o cimento Portland por meio de ensaio de compressão axial.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo avaliar através da resistência mecânica do concreto, a viabilidade da utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como adição mineral em substituição parcial de cimento Portland. Para isso, os objetivos específicos são:

- Produzir a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC);
- Avaliar a resistência mecânica do concreto dosado parcialmente com a cinza do bagaço de cana-de-açúcar;
- Analisar os resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cimento Portland

Tendo sua origem do latim CAEMENTU a cerca de 4.500 anos, a palavra cimento intitulava uma espécie de pedra natural de rochedos na antiga Roma. Grandes e importantes marcos da engenharia já utilizavam uma mistura composta de gesso calcinado. Obras como o Panteão e o Coliseu, foram erguidas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento ao contato com a água. (SNIC, 2004)

O cimento Portland foi instituído pelo construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou no ano de 1824. Era comum na Inglaterra utilizar pedra de Portland, uma ilha situada no sul inglês, para construir naquela época. Como a resultância da invenção de Aspdin aproximava-se em cor e dureza a essa pedra de Portland, ele registrou esse nome em sua patente. Por este fato o cimento é chamado *Cimento Portland*. (ABCP, 2003)

O cimento Portland é um dos, se não o mais importante material de construção e intensamente utilizado em todo o mundo.

O cimento Portland é um fino pó resultante da mistura homogênea de clínquer Portland, gesso e adições normalizadas moídos que apresenta propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que ao contado com água endurece. No estado sólido, mesmo que novamente tenha a ação da água, o cimento Portland não retorna a sua origem como material fino (ABCP, 2003). A combinação do cimento Portland com materiais de diferentes naturezas como areia, pedra, cal, aditivo e outros, origina a formação das pastas, argamassas e concretos.

Os concretos e argamassas terão suas características e propriedades dependendo da qualidade e das proporções dos materiais componentes. O cimento Portland é a o material mais ativo quimicamente, tornando-o o mais importante da mistura, por ser o agente responsável pela união dos compostos. Por isto, é imprescindível conhecer bem as propriedades e características do cimento, para usufruir da melhor forma possível ao aplicá-lo (ABCP, 2003).

3.2. Produção do cimento Portland

A fabricação do cimento Portland segue a normatização da ABNT, a Associação Brasileira de Normas Técnicas. As normas técnicas não determinam só as características mínimas e as propriedades que o cimento Portland deve apresentar como também descreve uma série de métodos de ensaios laboratoriais para verificar se o cimento atende ao mínimo exigido por norma. (ABCP, 2003)

O processo de fabricação do cimento Portland depende dos seguintes materiais: calcário, argila, minério de ferro e gesso. Durante o processo de fabricação, os materiais são analisados por diversas vezes, de forma a alcançar a composição química desejada. A fabricação do cimento envolve as seguintes operações: dosagem, secagem e homogeneização das matérias primas, clínquerização, mineralogia do clínquer e adições finais e moagem.

3.3.1. Dosagem, secagem e homogeneização das matérias primas

O calcário é a matéria-prima básica, contribui de 85 a 95% na fabricação do clínquer, é constituído basicamente de carbonato de cálcio (CaCO_3) e, geologicamente pode conter várias impurezas como magnésio, silício, alumínio e ferro. A rocha calcária é obtida de jazidas com auxílio de processos explosivos.

Os blocos de pedra fragmentadas são submetidos ao processo de britagem, reduzindo o tamanho dos grãos, menor ou igual a 25 mm. Para melhorar a qualidade do clínquer, o calcário recebe ainda alguns complementos de: (ACBP, 2003)

- i. FILITO (argila): este material colabora com o alumínio (Al_2O_3);
- ii. QUARTZITO (material arenoso): este colabora com a sílica (SiO_2);
- iii. MINÉRIO DE FERRO: este colabora com ferro (Fe_2O_3).

Estes materiais são enviados para moagem no moinho de rolos, em proporções determinadas, onde se processa o início da mistura íntima, secagem e a homogeneização necessária, formando-se uma farinha crua.

3.3.2. Clinquerização

A principal etapa de fabricação do cimento é a clinquerização, em que ocorrem todas as reações físicas e químicas que ocorrem durante o período de cozedura, tratamento térmico adequado que transforma a farinha crua no clínquer que é uma solução sólida que confere todas as propriedades desejáveis ao produto.

Na clinquerização ocorre um processo de sinterização, que implica geralmente em retração e densificação. Pós compactos recebem tratamentos térmico, no qual a temperatura de processamento é sempre menor que a sua temperatura de fusão. Esse processo cria uma alteração na estrutura microscópica do elemento e compostos.

As reações químicas ocorridas no processo de clinquerização a partir da cal, sílica, alumina e óxidos de ferro, dão origem aos principais constituintes do clínquer, que são cristalizados quase que individualmente, que são:

- Alite: é essencialmente constituída pelo silicato tricálcico com diferentes átomos estranhos, como Mg, Al, Fé, provenientes de inclusões. Os cristais de alite são poligonais, de estrutura romboédrica, retangulares ou hexagonais, com dimensões de 10 a 50 nanometros;
- Belite: constituída essencialmente por silicato bicálcico beta, com átomos estranho, como o K, Fé, P, Ba, etc. Os cristais apresentam manchas lisas ou estriadas, sua dimensão é da ordem de 30 nanometros. Os cristais não possuem formas cristalinas definidas, são arredondados, amarelados ou mais ou menos escuros;
- Celite: ocorre entre os cristais de belite e alite. Reconhece-se pela sua coloração amarelo-alaranjada, é constituída por soluções sólidas entre um ferrato bicálcico e um aluminato bicálcico. É o principal responsável pela coloração cinzenta do cimento; cimentos brancos não contem celite (OLIVEIRA, 2009).

3.3.3. Mineralogia do clínquer

O conhecimento químico e mineralógico é de suma importância para facilitar a mistura dos materiais, que constituem a base para a determinação da composição mineralógica que baseados nos conceitos termodinâmicos de equilíbrio entre as fases presentes nos clínqueres, aliados a conceitos mineralógicos-cristalográficos, por exemplo, difusão iônica, reações de estado sólido, soluções sólidas, crescimento cristalino, dentre outros. Os critérios petrográficos, estrutura e textura. O estudo microscópico fornece informações sobre: composição granulometria e homogeneidade da matéria prima, calcário e argila; temperatura e tempo de clínquerização; e velocidade de resfriamento do clínquer.

É feita uma comparação entre a análise modal obtida por microscopia e a análise normativa calculada a partir das análises químicas, evidenciando as vantagens diagnósticas do método microscópico para definir a composição do clínquer. (KIHARA, 1997).

3.3.4. Adições finais e moagem

Para finalizar o processo de produção do clínquer, o material é resfriado no resfriador e a temperatura reduzida para menos de 200°C. Um filtro está instalado na saída do equipamento, liberando o ar de resfriamento para a atmosfera sem poluentes. Uma nova coleta de amostras é realizada para os ensaios químicos do Laboratório de Controle de Qualidade.

Em forma de pó, o clínquer tem a característica de reagir quimicamente sob ação de água, endurecendo e adquirindo elevada resistência mecânica. Portanto, é o principal componente do cimento Portland.

O clínquer é transportado, onde ficam armazenadas as outras matérias-primas que compõem o cimento: gesso, calcário e pozolana ou escória. Dependendo da porcentagem de cada produto, obtém-se uma especificação de cimento.

O gesso, sulfato de cálcio, tem a função de controlar o tempo de pega, ou seja, o início do endurecimento do clínquer moído quando o mesmo é misturado com

água. Sem a adição de gesso no processo de moagem do clínquer, o cimento endureceria quase instantaneamente quando entrasse em contato com a água, inviabilizando seu uso nas obras.

A escória de alto forno é obtida durante a produção de ferro-gusa nas indústrias siderúrgicas. Possui a propriedade de ligante hidráulico, ou seja, reage em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante ao clínquer. O uso da escória proporciona algumas melhorias no cimento, como maior durabilidade e maior resistência final.

A adição de materiais carbonáticos tem o objetivo de tornar os concretos e as argamassas mais trabalháveis, uma vez que os grãos desses materiais têm dimensões adequadas para se alojarem entre as partículas dos demais componentes do cimento, exercendo assim a função de um lubrificante. O que se denomina de materiais carbonáticos são rochas trituradas, que apresentam carbonato de cálcio em sua constituição.

A mistura segue para o moinho de cimento, onde todos os componentes são moídos até atingirem a granulometria ideal, resultando em cimento de alta qualidade. Após sua moagem, o cimento é estocado em silos até ser ensacado e comercializado (VOTORANTIM CIMENTOS, 2014).

3.3. Materiais pozolânicos

Pozolanas são substâncias naturais ou artificiais, de composição silicosa ou sílico-aluminosa, que, não sendo por si sós cimentícias, reagem, porém, com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente resultando em compostos com propriedades cimentícias. As pozolanas são originalmente argilas contendo cinzas vulcânicas, encontradas na região de Pozzuoli, Itália.

Atualmente, materiais com origens diferentes, mas com composições semelhantes também são considerados pozolânicos, tais como as pozolanas ativadas artificialmente e alguns sub-produtos industriais como cinzas volantes provenientes da queima de carvão mineral.

O processo de ativação de argilas é amplamente praticado pela própria indústria de cimentos, é geralmente realizado em fornos rotativos semelhantes

àqueles utilizados na fabricação de clínquer ou mesmo em antigos fornos de clínquer adaptados, trabalhando a temperaturas mais baixas, geralmente até 900 °C e menor tempo de residência. Assim como a escória siderúrgica, as pozolanas frequentemente têm menor custo comparadas ao clínquer e só podem substituí-lo até um determinado grau (PET CIVIL UFJF, 2010).

3.3.1. Adições pozolânicas

As adições pozolânicas, segundo a NBR 12653:2014, Materiais Pozolânicos – Requisitos, são materiais silicosos ou sílico aluminosos que por si só possui pouca ou nem uma propriedade cimentícia, mas quando finamente dividido e na presença de umidade, reage quimicamente com os produtos hidratados do clínquer para formar compostos com propriedades aglomerantes. São exemplos de pozolanas cinzas vulcânicas, cinzas volantes com baixo teor de cálcio, cinza da casca de arroz, cinza da cana-de-açúcar, sílica ativa e metacaulim.

A NBR 12653:2014 classifica as pozolanas em duas categorias de acordo com a origem do material: natural e artificial.

As naturais são as cinzas de origem vulcânica que não precisam de nenhum tratamento para serem utilizadas como material pozolânico.

Já as artificiais precisam de tratamento térmico para adquirirem propriedades pozolânicas ou são subprodutos industriais. Tanto as pozolanas artificiais quanto as naturais podem necessitar de peneiramento, britagem e moagem para adquirirem uma granulometria adequada para serem utilizadas como adição.

As adições pozolânicas podem entrar na mistura da argamassa ou do concreto no lugar de parte do agregado miúdo ou como componente do cimento Portland, substituindo até 50% do clínquer.

3.3.2. Influência dos materiais pozolânicos

Uma das principais vantagens da utilização de adição pozolânica em concretos é o aumento de sua durabilidade. A reduzida porosidade da pasta de cimento com adição dificulta a entrada de agentes agressivos ao concreto e à sua armadura como gás carbono, íons de cloreto, soluções ácidas e sulfato. (ABCP, 2003)

A pozolana também inibe a reação álcali-agregado que ocorre entre a Portlandita, presente na pasta de cimento, e o agregado graúdo, quando este possui fases mineralógicas reativas. Esta reação gera um gel expansivo no interior do concreto que leva à fissuração do mesmo. Como a pozolana consome as moléculas de carbono e hidrogênio, a reação álcali-agregado fica inibida de ocorrer por haver reduzida quantidade de álcalis livres no sistema.

Diante das inúmeras vantagens do uso de materiais pozolânicos, a indústria e a comunidade acadêmica já descobriram diferentes materiais que, com ou sem tratamento, possuem esta propriedade.

3.3.3. Tipos de adições pozolânicas

De acordo com a NBR 5736:1999, Cimento Portland Pozolânico, as pozolanas podem ser naturais, materiais de origem vulcânica, geralmente ácidos, ou de origem sedimentar; podem também ser artificiais, materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica. Exemplos mais comuns:

Sílica ativa, a mais utilizada em concreto de alto desempenho em todo mundo. Sua contribuição consiste na alta reatividade nas primeiras idades, induzindo a um aumento nas resistências mecânicas iniciais e finais; diminuição da taxa de absorção e no aumento da resistência capilar.

Cinza volante melhora a trabalhabilidade e a coesão, diminuindo a exsudação e a segregação, facilitando a operação de transporte, lançamento e o acabamento,

pois ocorre o retardamento do tempo de pega, baixo calor de hidratação; redução da permeabilidade e aumento da durabilidade.

A cinza de casca de arroz tem comportamento similar ou até melhor que a sílica ativa. Por isso, alguns pesquisadores a consideram como uma super pozolana, quando obtida por meio de queima controlada.

O filler calcário devido às suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto convencional, tais como: trabalhabilidade, densidade, exsudação, permeabilidade, capilaridade. É quimicamente inerte – não possui atividade pozolânicas.

A cal hidratada tem por finalidade repor parcialmente ou totalmente, as reservas de hidróxido de cálcio para as reações pozolânicas e, ainda, restabelecer a reserva alcalina do concreto, a qual sofre decréscimo variável dependendo da reatividade e teor de cada adição. A adição de cal hidratada diminui a porosidade total, com a formação de uma estrutura mais densa e acelera a taxa de hidratação do cimento. (ABNT NBR 5736, 1999).

3.4. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Segundo Moreira e Goldemberg (1999), o bagaço da cana-de-açúcar representa o maior resíduo da agricultura no Brasil, resultado da extração do caldo na moagem do mesmo. O produto proveniente deste processo é responsável pelo setor sucroalcooleiro, como por exemplo, a biomassa em processos de co-geração, e, além disso, gera um excedente passível de ser comercializada para as concessionárias de energia e polos industriais, segundo Lora (2001), a cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

Em termos de óxidos, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar apresenta uma grande quantidade de dióxido de silício, normalmente acima de 60% quando tratamos de massa. O silício é absorvido do solo pelas raízes na forma de ácido monossílico (H_4SiO_4) e, após a saída da água das plantas por transpiração, deposita-se na parede externa das células da epiderme como sílica gel. O acúmulo de silício entre a cutícula e a parede das células da epiderme funciona como uma barreira física à penetração de fungos patogênicos e reduz as perdas de água por

transpiração (BARBOZA FILHO e PRABHU, 2002). Outra possível fonte de sílica para a cinza é a areia (quartzo), oriunda da lavoura, que não é totalmente removida durante a etapa de lavagem no processamento da cana-de-açúcar. Esta areia permanece no bagaço e pode ser observada nas operações de limpeza dos salões das caldeiras, onde ocorre a combustão.

3.5. Estudos com a cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Já são realizados estudos sobre a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como aditivo mineral ainda estão no início. Porém, há pesquisas que apontam para a viabilidade do uso da cinza junto ao cimento Portland. Martinera Hernández (1998) investigou, através de técnicas de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura, as reações em pasta composta de cinza do bagaço e hidróxido de cálcio (30% de cinza e 70% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$), com relação água aglomerante de 0,47. Os resultados indicaram consumo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ no tempo e presença de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) como principal produto formado nas reações pozolânicas. Em pesquisas realizadas foi ressaltado por diversos autores que a alta temperatura e a incompleta combustão nas caldeiras podem reduzir, consideravelmente, a característica reatividade da cinza em função do alto teor de carbono e da presença da sílica em estado estrutural cristalino.

Singh (2000) avaliou a atividade pozolânica da cinza do bagaço em pastas com cimento Portland e relação água-sólidos de 0,50. Segundo Singh (2000) a resistência à compressão da pasta composta por 10% de cinza, com relação à massa de cimento, foi 30% maior que a resistência alcançada pela pasta de referência (100% de cimento). Ainda de acordo com Singh, a deterioração química causada por ácido sulfúrico (H_2SO_4 , N/60), medida por meio de expansões de prismas, foi significativamente menor nas pastas com a cinza do bagaço.

Com base em um estudo realizado por Cordeiro (2008), onde ele apresenta uma diferença entre os efeitos físicos e químicos em argamassas, promovidos pela cinza do bagaço em conjunto com cimento Portland, já é possível considerar a cinza do bagaço como um material promissor a ser utilizado em concretos, principalmente em locais de clima tropical.

4. METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DE DADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram colhidos fardos de bagaço de cana-de-açúcar proveniente do processo de moagem junto ao estabelecimento comercial, localizado no bairro Guarani em Belo Horizonte/MG.

Após a coleta dos fardos de bagaço de cana-de-açúcar, estes foram encaminhadas ao laboratório de materiais de construção civil TEPAC Engenharia e Tecnologia, localizado no bairro Vila Clóris na cidade de Belo Horizonte.

A obtenção da cinza ideal para a dosagem do concreto necessariamente passou pelas seguintes etapas:

- Secagem do bagaço de cana-de-açúcar;
- Queima controlada do bagaço de cana-de-açúcar;
- Caracterização granulométrica da cinza proveniente da queima;
- Armazenamento da cinza.

O bagaço de cana-de-açúcar ficou em processo de secagem durante dois dias à sombra. Posteriormente passou pelo processo de queima controlada entre 700°C e 800°C em forno apropriado utilizado no laboratório de materiais.



Figura 01 - Bagaço de cana-de-açúcar secando à sombra.

FONTE: Acervo Próprio, 2016.



Figura 02 – Peneirador usado na caracterização granulométrica.

FONTE: Acervo Próprio, 2016.

Depois do processo de queima do bagaço de cana-de-açúcar, a cinza foi passada pela peneira com abertura 0,595mm. O material que foi retido na peneira foi levado a um almofariz e feito a desmembração dos torrões que ainda existia, logo em seguida foi novamente passada pela peneira até que não houvesse material nenhum retido ou até o momento em que não sobrassem torrões ou gravetos que não passassem pela malha. A granulometria das cinzas foi realizada segundo o método da ABNT NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 1987).

Após o peneiramento de uma quantidade suficiente para fazer os corpos de provas (CP's), a cinza foi armazenada.



Figura 03 - Cinza da cana-de-açúcar e cimento Portland.

FONTE: Acervo Próprio, 2016.

Também foram utilizados: agregado graúdo (Brita 01 Gnaisse) com dimensão máximo nominal de 25 mm, areia quartzosa de rio com módulo de finura de 2,12 e água potável.

5. METODOLOGIA DE ANÁLISE

Para avaliar as propriedades mecânicas do concreto feito com a cinza do bagaço de cana-de-açúcar, estabeleceu-se a seguinte metodologia de trabalho:

- Seleção e caracterização dos materiais;
- Definição do traço de referência;
- Taxas de utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar de 10%, 15% e 20% em substituição a massa de cimento do traço de referência;
- Concretagem de corpos-de-prova cilíndrico de 10 cm x 20 cm;
- Cura dos corpos-de-prova;
- Ensaios à compressão axial dos corpos-de-prova nas idades: 3, 7, 14 e 28 dias.

A dosagem dos concretos (referência e com adição de cinza do CBC) foi realizada através do cálculo segundo padrões normativos da ABNT NBR 12655 –

Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento (ABNT, 2006).

A resistência à compressão do concreto de referência foi estipulada em 30 MPa e a consistência, de acordo com ensaio de abatimento do tronco de cone, mantida na faixa entre 80 mm e 100 mm. Além dos concretos com substituição parcial da massa de cimento por cinza de bagaço de cana-de-açúcar foi dosado também o concreto de referência.

Na tabela abaixo é apresentado o resumo da composição de cada concreto utilizado em massa (Kg).

Tabela 1 - Dosagem dos concretos.

MATERIAIS	CONCRETO REFERÊNCIA	TEOR DE CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR		
		10%	15%	20%
Cimento Portland CP II E 32	4,0 kg	3,6	3,4 kg	3,2 kg
Cinza do bagaço de cana-de-açúcar	-	0,4	0,6 kg	0,8 kg
Areia Quartzosa de rio	4,0 kg	4,0	4,0 kg	4,0 kg
Brita 01 Gnaisse	6,0 kg	6,0	6,0 kg	6,0 kg
Água Potável	1,7L	1,7L	1,7 L	1,7 L

FONTE: Acervo Próprio, 2016.

Após a caracterização granulométrica dos agregados e da cinza de bagaço de cana-de-açúcar, iniciou-se o processo de dosagem, realizando-se em um primeiro instante a dosagem do traço do concreto de referência.

Pesaram-se as massas de agregado miúdo e graúdo a serem utilizadas, em seguida, procedeu-se da mesma maneira com relação à determinação da massa de cimento Portland a ser utilizada.

Calculou-se a quantidade de água necessária para a mistura dos materiais, e reservou-a em uma proveta. Em seguida, realizou-se a mistura dos componentes em uma betoneira com capacidade de 120 litros.

Retirou-se o concreto da betoneira, sendo parte dele separado para a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (Slump Test), conforme descreve a ABNT NBR NM 67 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. (ABNT, 1998).

Para cada um dos traços que foram dosados foi moldado um lote de corpos de prova (amostras) a serem ensaiados. Cada dosagem de traço e substituição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, foi composta por 4 corpos de prova, sendo quatro idades de rompimento (3, 7, 14 e 28 dias), totalizando assim 16 corpos de prova.

Os corpos de prova cilíndricos possuem dimensões de 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura e foram moldados no próprio Laboratório da TEPAC Engenharia e Tecnologia.

A moldagem e dos corpos-de-prova foi feita como proposto na ABNT NBR 5738 - Recomendações Básicas para Moldagem e Manuseio de Corpos de Prova – Procedimento (ABNT, 2003). Os corpos de prova foram deixados em repouso no próprio local por 24 horas, sendo posteriormente retirados dos moldes e levados a câmara úmida para cura, onde permaneceram até o momento do ensaio de resistência à compressão simples.

Primeiramente os corpos de prova passaram pelo processo de retificação das faces transversais e em seguida os mesmos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os ensaios mecânicos de resistência à compressão foram realizados em uma prensa hidráulica de capacidade de carga de 100 toneladas, de acordo com a ABNT NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 1994).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A determinação da viabilidade da substituição parcial da cinza de bagaço de cana-de-açúcar em relação à massa de cimento Portland deu-se com o ensaio de resistência à compressão em quatro lotes de concreto, cotendo substituições de 10%, 15% e 20% de CBC, além do Concreto Referência.

Ao analisar os resultados da resistência à compressão verificou-se que a medida que a proporção da quantidade cinza de bagaço de cana-de-açúcar aumentava em relação a massa de cimento Portland, a resistência apresentava queda.

Verificou-se ainda que a resistência à compressão apresentou uma queda maior quando a substituição da cinza de bagaço de cana-de-açúcar ao cimento Portland foi superior aos 10%. Nota-se que no concreto com adição parcial de 10% de cinza de cana-de-açúcar em relação à massa de cimento, os valores de resistência à compressão aproximaram-se muito do Concreto Referência.

Tabela 2 - Resultados obtidos através do ensaio de resistência à compressão.

TRAÇOS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)			
	03 DIAS	07 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
Concreto Referência	15,7	22,3	24,6	30,7
com 10% de CBC	13,8	19,5	22,9	28,1
com 15% de CBC	10,5	13,1	16,5	22,3
com 20% de CBC	9,8	11,6	13,4	18,1

FONTE: Acervo Próprio.

A seguir é apresentado o gráfico de evolução da resistência à compressão das amostras com substituição parcial do cimento Portland por cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC).

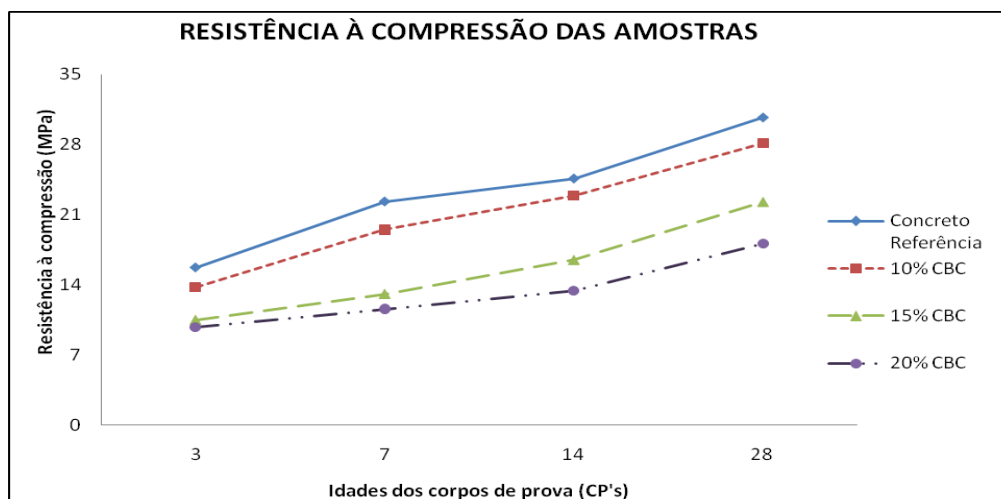


Figura 04 - Resistência à compressão das amostras ensaiadas - Evolução.

FONTE: Acervo Próprio, 2016.

Diante dos dados obtidos no ensaio de compressão, observou-se que a substituição parcial do cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar em proporção de 10% gerou melhor resistência em comparação as demais substituições realizadas. Os resultados alcançados nas idades de cura de 14 e 28 dias quase se assemelham ao Concreto Referência, como pode ser observado no gráfico acima.

Analisando a queda de resistência à compressão de acordo com a porcentagem de substituição do cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, observa-se que o valor de queda da resistência nos traços com 15% de CBC e 20% de CBC foram significativos, sendo a redução da resistência à compressão no traço com 20% de CBC mais elevada. Concluindo assim que a redução de resistência foi mais acentuada nos traços onde a substituição de cimento Portland por cinza do bagaço de cana-de-açúcar atingiram proporções de 15% e 20%, enquanto que a proporção de 10% de CBC apresentou resultados próximos ao traço do Concreto Referência.

Ainda através dos resultados obtidos aos 03 dias de cura, podemos observar que a cinza de bagaço de cana-de-açúcar reagiu melhor à mistura no concreto com 10% de CBC, assim como o cimento reage na mistura de um concreto convencional. Analisamos que o resultado foi inferior ao Concreto Referência (0% de CBC), mas aos 07 e 14 dias houve um grande ganho de resistência à compressão do corpo de prova com 10% de CBC, e os resultados em comparação com o Concreto Referência quase se igualaram aos 14 dias.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se ateve em, através da análise da resistência à compressão de corpos de prova (CP's) de concreto com adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar substituindo o cimento Portland parcialmente em proporções de 10%, 15% e 20%, observar os resultados obtidos e verificar a viabilidade desta substituição.

Analizou-se que a substituição de cimento Portland por cinza de bagaço de cana-de-açúcar se tornou viável na proporção de 10% de CBC em relação à massa de cimento. Sendo esta a proporção onde a resistência à compressão não foi tão prejudicada.

A idéia deste trabalho partiu da importância da consciência ambiental e econômica. Os danos causados pela ação humana à natureza com a produção de cimento e o descarte incorreto da cinza de bagaço de cana-de-açúcar e até mesmo do próprio bagaço in natura. Estes processos prejudiciais ao meio ambiente podem ser minimizados com a efetiva substituição do cimento Portland no concreto pela cinza da cana-de-açúcar. Porém, além dos pensamentos ambientais e econômicos que deram início a este trabalho, a utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em concretos, principalmente, deve ser viável e considerar as principais características do concreto como a resistência à compressão, que foi analisada aqui, mas ainda deve se considerar características como consistência, durabilidade, as reações da mistura, dentre outras tantas importantes.

Em algumas obras a redução em 10% ou 15% da resistência à compressão do concreto pode ser tolerada, desde que previstas previamente, este fato torna o experimento apresentado eficaz em certas circunstâncias.

Este trabalho foi uma pequena demonstração da utilização da cinza da cana-de-açúcar e de seu potencial enquanto aglomerante, limitando-se ao ensaio de compressão axial. Este estudo deve ser mais aprofundado para, de fato, verificar a real viabilidade técnica e econômica para que o uso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como material de construção civil em substituição parcial em concretos seja confiável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Boletim Técnico**. Disponível http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/03/189/20121122172811763174i.pdf, Acesso em 19/10/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Recomendações Básicas para Moldagem e Manuseio de Corpos de Prova – Procedimento. (NBR-5738/03)**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. (NBR 5739)**. Rio de Janeiro, ABNT, 1994. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica. (NBR 7217)**. Rio de Janeiro, ABNT, 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. (NBR 12655)**. Rio de Janeiro, ABNT, 1996. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. (NBR NM 67)**. Rio de Janeiro, ABNT, 1998. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais Pozolânicos – Requisitos. (NBR 12653)**. Rio de Janeiro, ABNT, 2014. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico. (NBR 5736)**. Rio de Janeiro, ABNT, 1999. 5p.

BARBOZA FILHO, M.P., PRABHU, A.S. **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz – Circular Técnica 51, Santo Antônio de Goiás**. EMBRAPA, 4p. 2002.

CORDEIRO, G.C.; BARROSO, T. R. **Avaliação da atividade pozolânica e aplicação em concreto de cinza do bagaço de cana-de-açúcar produzida com queima controlada.** Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2011.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. **Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars.** Cement and Concrete Composites, v.30, p.410-418. 2008.

CORDEIRO, G.C.; TOLEDO FILHO, R.D.; FAIRBAIN, E.M.R. **Produção de cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono para emprego em concreto de alto desempenho.** Anais das XXXII Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural. Campinas. 2006.

GARTNER, E.M. **Industrially interesting approaches to ‘low-CO₂’ cements.** Cement and Concrete Research, v. 34, n. 9, pp. 1489-1498. 2004.

KYHARA, Y. **The Influence of carbonation of the alkali-aggregate reaction mechanism.** In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT 10 PROCEEDINGS. v.4 p.331-334, 1997.

LORA, E.S., ARRIETA, F.P., CARPIO, R.C. **Eletricidade a partir do bagaço de cana.** In: Mello, M. G. (ed), *Biomassa – Energia dos trópicos em Minas Gerais*, 1ed. Belo Horizonte: Lab Mídia, pp. 59-81. 2001.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and Cementitious Materials.** Amsterdam: Gordon and Breach Publishers, 1996.

MARTIRENA HERNÁNDEZ, J. F. M., MIDDEENDORF, B., GEHRKE, M., BUDELMANN, H. **Use of wastes of the sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of the reaction.** Cement and Concrete Research, v.28, n.11, pp. 1525-1536. 1998.

MEHTA, P.K. **Greening of the concrete industry for sustainable development.** Concrete International, v. 24, n. 7, pp. 23-28. 2002.

MOREIRA, J.R., GOLDEMBERG, J. **The alcohol program.** *Energy Policy*, v. 27, n 4, pp. 229-245. 1999.

OLIVEIRA, V. C. H. C. *et al.* **Estratégias para minimização da emissã de CO₂ de concretos.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2014. v. 14, n. 4, p. 167-181.

PET CIVIL UFJF. **Concretos Especiais com Cinzas Agroindustriais Pozolânicas.** 2010. Disponível em <https://blogdopetcivil.com/tag/propriedades-pozolanicas/>. Acessado em 04/01/2018.

SAVASTANO, Jr., WARDEN, P. G. **Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites.** Cement and Concrete Composites, v.25, n.5, p.517-624. 2003.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatórios de Produção.** Disponível em: http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp, acessado em 19/10/2017.

SINGH, N. B., SINGH, V. D., RAI, S. **Hydration of bagasse ash-blended Portland cement.** Cement and Concrete Research, v.30, n.9, pp. 1485-1488. 2000.

STRUBLE, L., GODFREY, J. **How sustainable is concrete?** In: International Workshop on Sustainable Development and Technology, part II, Beijing, China, pp. 201-211. 2004.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Relatório de produção de cimento.** 2014

9. ANEXOS

ANEXO A – Análise de agregados - AREIA

ANALISE DE AGREGADOS A.B.N.T. - NBR 7211/2009	
CLIENTE: BRYAN GETÚLIO QUIRINO	
OBRA : TCC	
<u>AMOSTRA DE AREIA</u>	
COLETOR: CLIENTE	

PENEIRAS:		ABERTURAS:		AREIA FINA	
Poleg.	mm	% ret.	% acu.		
½	12,5	-	-		
⅓	9,5	-	-		
¼	6,3	-	-		
N.4	4,8	-	-		
N.8	2,4	5	5		
N.16	1,2	15	20		
N.30	0,6	28	48		
N.50	0,3	36	84		
N.100	0,15	13	97		
Fundo	0,00	5	100		
Diam. Máximo		2,4 mm			
Mod. Fina		2,12			

RESULTADOS:		
DETERMINAÇÕES:	RESULTADOS DOS ENSAIOS:	LIMITES ESPECIFICADO
Torrões de argila e materiais friáveis(%)	-	3,0%
Material pulverulento (%)	2,8%	Concreto submetido a desgaste superficial= 3,0%. Demais Concretos = 5,0%.
Impureza Orgânica (PPM)	<300	<300PPM
Peso específico Real (Kg/dm ³)	2,577	-
Peso específico Unitário seco (Kg/dm ³)	1,433	-
Peso especificado Unitário úmido(Kg/dm ³)	1,196	-

Data: 24/05/2016

ANEXO B – Análise de agregados- BRITA

ANALISE DE AGREGADOS A.B.N.T. - NBR 7211/2009	
CLIENTE: BRYAN GETÚLIO QUIRINO	
OBRA : TCC	
<u>AMOSTRA DE BRITA 1</u>	
COLETOR: CLIENTE	

PENEIRAS		BRITA 1	
Poleg.	mm	% ret.	% acu.
11/4	32,0	-	-
1"	25,0	-	-
3/4	19,0	9	9
3/8	12,5	82	91
3/8	9,50	7	98
3/4	6,3	2	100
N.4	4,8	0	100
N.8	2,4	0	100
N.16	1,2	0	100
N.30	0,6	0	100
N.50	0,3	0	100
N.100	0,15	0	100
Fundo	0,00	0	100
Diam. Máximo		25,0mm	
Mod. Finaza		7,07	
RESULTADOS:			
DETERMINAÇÕES:	RESULTADOS DOS ENSAIOS:	LIMITES ESPECIFICADO	
Torrões de argila e materiais friáveis (%)	-	Concreto aparente: 1,0 Concreto sujeito a desgaste superficial: 2,0% Outros concretos: 3,0%	
Material pulverulento (%)	0,3%	1,0%	
Peso especificado Real (Kg/dm ³)	2,698	-	
Peso especificado Unitario (Kg/dm ³)	1,318	-	

Data: 24/05/2016