



Estudo para reutilização das cinzas da palha e do bagaço de cana-de-açúcar geradas na produção do Etanol de segunda geração em matrizes cimentícias

Study for the reuse of sugarcane straw and bagasse ash generated in the production of second-generation Ethanol in cementitious matrices

DOI: 10.55905/revconv.16n.7-084

Recebimento dos originais: 07/06/2023

Aceitação para publicação: 07/07/2023

Javier Mazariegos Pablos

Doutor em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU – USP)

Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

Endereço: São Paulo – SP, Brasil

E-mail: pablos@sc.usp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5986-5752>

Mário Sérgio de Andrade Zago

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia da Universidade de São Paulo (USP)

Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

Endereço: São Paulo – SP, Brasil

E-mail: mario.zago@usp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1192-3428>

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, com 25% de participação no mercado global. A cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) é um resíduo gerado na indústria sucroalcooleira, proveniente da queima do bagaço para produção de energia elétrica. No caso do etanol de primeira geração, a CBC é usada como adubo nas plantações de cana. Já no etanol de segunda geração, as cinzas (CBC2G) são provenientes da queima do bagaço, palha e lignina. O reaproveitamento desses resíduos é essencial para preservar recursos naturais, reduzir a degradação ambiental e melhorar as condições de vida das comunidades. Esta pesquisa tem como objetivo caracterizar as cinzas CBC2G e compará-las às CBC convencionais, além de explorar a possibilidade de reutilização dessas cinzas na produção de materiais cimentícios para a construção civil. O estudo analisa as propriedades das cinzas e avalia seu potencial como substituto parcial do cimento ou do agregado miúdo (areia). Isso pode trazer benefícios econômicos, reduzindo custos, e ambientais, ao diminuir a quantidade de resíduos descartados e as emissões de CO₂ associadas à produção de cimento.

Palavras-chave: cinza de bagaço de cana-de-açúcar, Etanol de primeira geração, Etanol de segunda geração (2G), agregado miúdo.



ABSTRACT

Brazil is the second largest producer of ethanol in the world, with a 25% share of the global market. Sugarcane bagasse ash (CBC) is a residue generated in the sugar and alcohol industry, resulting from the burning of bagasse to produce electricity. In the case of first-generation ethanol, CBC is used as fertilizer in sugarcane plantations. In second-generation ethanol, ash (CBC2G) comes from burning bagasse, straw and lignin. The reuse of this waste is essential to preserve natural resources, reduce environmental degradation and improve the living conditions of communities. This research aims to characterize CBC2G ashes and compare them to conventional CBC, in addition to exploring the possibility of reusing these ashes in the production of cementitious materials for civil construction. The study analyzes the properties of ash and evaluates its potential as a partial substitute for cement or fine aggregate (sand). This can bring economic benefits, reducing costs, and environmental benefits, by reducing the amount of waste discarded and the CO₂ emissions associated with cement production.

Keywords: sugarcane bagasse ash, first generation Ethanol, second generation Ethanol (2G), fine aggregate.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol do mundo, com 25% de participação no mercado global, depois dos EUA. Enquanto os EUA dependem do milho para produzir etanol, o Brasil produz a partir da cana-de-açúcar. O etanol é uma fonte de combustível brasileira cuja origem remonta a princípios do século 20, mas que só ganhou força em 1973, com a crise do petróleo que resultou na criação do Programa Nacional do Álcool, o PROÁLCOOL. O programa acelerou o investimento público e privado na produção do bioetanol, tornando-se a peça central do setor de energia brasileiro.

A experiência adquirida pelo Brasil no cultivo de cana-de-açúcar e processamento industrial do etanol elevou grandemente os índices de produção pela ampliação da produtividade e otimização do uso da terra. Nesse contexto, o aumento da produção, em termos de processamento industrial, se dá de duas formas: por aperfeiçoamentos das tecnologias utilizadas na produção do etanol de primeira geração (sacarose); ou pelo desenvolvimento tecnológico e científico do etanol 2G (celulose).

No Brasil etanol está entrando em uma nova etapa. A produção em escala comercial a partir da palha e do bagaço da cana, e não com o caldo, o etanol de segunda geração (2G). Atualmente (2016/2017 – fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Política Agrícola), o Brasil produz 27 bilhões de litros de etanol por ano.

O processo de produção do etanol 2G usa enzimas para decompor a celulose das



plantas. Inicialmente, um lote de enzimas só podia ser usado uma única vez. A indústria está trabalhando na criação de enzimas que sobrevivam e possam ser reusadas em vários ciclos de produção. Isso reduziria o preço e melhoraria a competitividade, que são fatores importantes em um cenário de energia global em que o petróleo é mais barato a cada dia.

Um dos principais resíduos gerados no processo industrial do setor sucroalcooleiro é a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), derivada da queima do bagaço da cana nas caldeiras para a produção de energia elétrica (cogeração). Esse material é descartado no solo como adubo nas lavouras de cana-de-açúcar, no caso da produção do etanol de primeira geração.

Na produção do etanol de segunda geração, as cinzas (CBC2G – cinza do bagaço da cana de segunda geração) são geradas pela queima do bagaço, da palha e da lignina (resíduo da destilação do etanol).

Dentro desse contexto torna-se essencial reaproveitar, ou reciclar o lixo, os rejeitos e os resíduos por ele gerados, como forma de recuperar matéria e energia, visando preservação de recursos naturais, uma menor degradação do meio ambiente e uma melhoria nas condições de vida das comunidades.

Dessa forma, esta pesquisa, a qual é continuação do trabalho de Mestrado de Mário Sérgio de Andrade Zago (2017), pretende caracterizar as cinzas (CBC2G) oriundas da produção do etanol de segunda geração, compará-la à CBC gerada na produção do etanol convencional e verificar as possibilidades do seu reaproveitamento na produção de matrizes cimentícias ou poliméricas (adição da CBC2G à resina vegetal de mamona), visando aplicação no setor da construção civil.

2 METODOLOGIA

Metodologia utilizada na pesquisa.

- Visita à indústria para levantamento e conhecimento da fonte geradora.
- Classificação do resíduo ABNT NBR 10004; “Resíduos Sólidos: Classificação”. 2004.
- Caracterização do resíduo como agregado. NBR 7211.
- Verificação de atividade pozolânica.
- Determinação da matriz mais adequada (cimentícia ou polimérica) de acordo com as características e propriedades do resíduo.
- Elaboração de diferentes composições resíduo/aglomerante.



- Verificação e adequação da composição com melhor desempenho mecânico (resistência à compressão, flexão e tração).
- Determinação do desempenho mecânico, físico e químico.
- Comparação dos resultados obtidos com a norma de desempenho - NBR 15575: “Edificações Habitacionais – Desempenho”. 2013

3 OBJETIVOS

Objetivos esperados pela pesquisa.

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver material compósito cimentício ou polimérico, a partir da reciclagem das cinzas da queima da palha, da lignina e do bagaço da cana-de-açúcar geradas na produção de etanol de segunda geração, visando aplicação na construção civil.

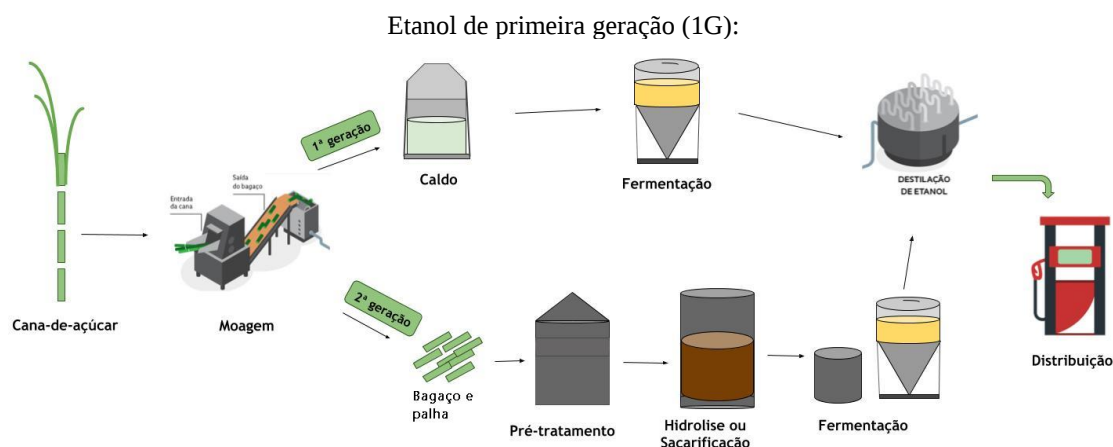
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecimento da fonte geradora;
- Verificar a classificação do resíduo sólido (CBC2G);
- Caracterizar o resíduo sólido como agregado, para utilização na composição de materiais compósitos;
- Investigar a atividade pozolânica da cinza;
- Determinar matriz adequada de acordo com características e propriedades do resíduo;
- Determinar composições de resíduo/aglomerante;
- Adequar a composição com melhor desempenho mecânico;
- Verificar o desempenho mecânico, físico e químico do compósito obtido;
- Comparar os resultados obtidos com relação à NBR 15575: “Edificações Habitacionais – Desempenho”. 2013;
- Elaborar recomendações técnicas do material estudado quanto às suas possíveis aplicações na construção civil.



4 ETANOL 1G E 2G

4.1 ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO



Matérias-primas: O etanol de primeira geração é produzido a partir de fontes de biomassa que contêm açúcares ou amidos facilmente fermentáveis. As principais matérias-primas utilizadas incluem:

- **Cana-de-açúcar:** O processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar envolve a extração do caldo da cana, que é rico em açúcares fermentáveis. Esse caldo é fermentado e destilado para obter o etanol.
- **Milho:** No caso do etanol de milho, os grãos de milho são moídos e tratados com enzimas para converter o amido em açúcares fermentáveis. Em seguida, ocorre a fermentação e a destilação para obter o etanol.
- **Outras culturas ricas em amido ou açúcares:** Além de cana-de-açúcar e milho, outras culturas como trigo, cevada e batata também podem ser utilizadas para produzir etanol de primeira geração.

Processo de produção: O processo de produção do etanol de primeira geração envolve etapas principais, como:

- **Preparação da matéria-prima:** As matérias-primas são colhidas e processadas para obter o material adequado para a produção de etanol. Isso pode envolver a extração do caldo da cana-de-açúcar ou a moagem do milho.



- Fermentação: Os açúcares presentes nas matérias-primas são fermentados por meio da ação de microrganismos, como leveduras. Durante a fermentação, os açúcares são convertidos em etanol e dióxido de carbono.
- Destilação: O etanol resultante da fermentação é destilado para separá-lo do líquido restante, removendo impurezas e aumentando a concentração de etanol.
- Desidratação: O etanol destilado pode passar por um processo adicional de desidratação para remover qualquer quantidade residual de água e aumentar a pureza do etanol final.

4.2 ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

- Matérias-primas: O etanol de segunda geração é produzido a partir de biomassa lignocelulósica, que consiste em partes não comestíveis de plantas, resíduos agrícolas e florestais, como palha de cereais, resíduos de culturas agrícolas, resíduos de madeira e capim.
- Processo de produção: A produção de etanol de segunda geração envolve etapas mais complexas em comparação com o etanol de primeira geração, incluindo:
 - Pré-tratamento: A matéria-prima lignocelulósica é submetida a um processo de pré-tratamento físico, químico ou enzimático para desfibrar e tornar os componentes celulósicos e hemicelulósicos mais acessíveis às etapas subsequentes.
 - Hidrólise: O material pré-tratado é submetido à hidrólise enzimática, onde enzimas específicas são adicionadas para quebrar a celulose e a hemicelulose em açúcares fermentáveis, como glicose e xilose.
 - Fermentação: Os açúcares obtidos na etapa anterior são fermentados por microrganismos, como leveduras ou bactérias, para converter os açúcares em etanol.
 - Destilação e purificação: O etanol resultante da fermentação é destilado para separar e concentrar o etanol. Além disso, podem ser aplicados processos de purificação adicionais para remover impurezas e obter um etanol de alta pureza.

A produção de etanol de segunda geração é mais desafiadora devido à complexidade da biomassa lignocelulósica, o que requer processos mais avançados e eficientes para obter o etanol fermentável. No entanto, a utilização de resíduos e biomassa não destinados à alimentação

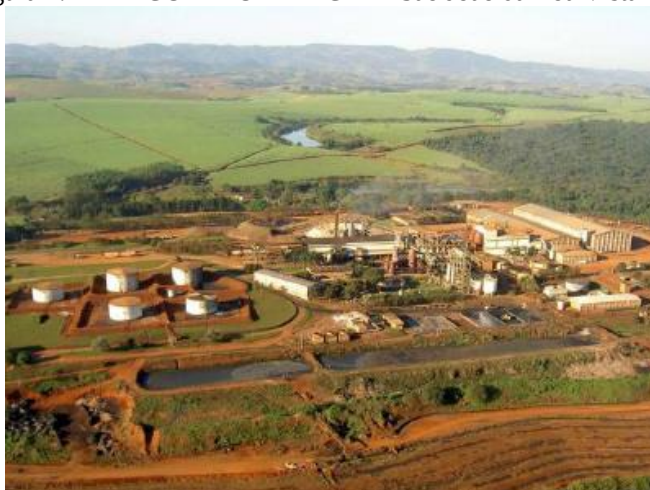


humana reduz o impacto sobre a produção de alimentos e oferece uma alternativa mais sustentável.

5 FONTE GERADORA

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar gerada a partir da produção de etanol de primeira geração utilizada foi coletada da Abengoa Bioenergia, localizada na região de São João da Boa Vista – SP (figura 1). Este material é depositado em um terreno a céu aberto.

Figura 1: ABENGOA BIOENERGIA – São João da Boa Vista – SP



Fonte: ABENGOA BIOENERGIA

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar gerada a partir da produção de etanol de segunda geração utilizada foi cedida pela GranBio, localizada na região de São Miguel dos Campos -AL (figura 2).



Figura 2: GranBio – São Miguel dos Campos – AL



Fonte: GranBio

6 ANÁLISE DA CAPACIDADE POZOLÂNICA

A capacidade pozolânica refere-se à capacidade de certos materiais de reagir com o hidróxido de cálcio (cal) em presença de água, formando produtos químicos adicionais que contribuem para a resistência e durabilidade de materiais de construção, como concretos e argamassas. Esses materiais são conhecidos como pozolanas e são amplamente utilizados na indústria da construção civil.

A reação pozolânica ocorre entre a pozolana e o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento Portland, principal componente do concreto. A adição de pozolanas ao concreto pode melhorar suas propriedades, como a resistência à compressão, a durabilidade, a impermeabilidade e a redução da reação álcali-agregado.

As pozolanas podem ser de origem natural, como a sílica ativa (cinza volante), cinza de casca de arroz, pozolana natural ou metacaulim, ou podem ser pozolanas artificiais, como escória de alto forno. Esses materiais são finamente moídos e adicionados ao concreto em substituição parcial ao cimento Portland.

Durante a reação pozolânica, os compostos presentes na pozolana, como sílica e alumina, reagem com o hidróxido de cálcio, formando produtos como silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) e aluminatos de cálcio hidratados (C-A-H). Esses produtos preenchem os poros do concreto, melhorando sua resistência mecânica e sua capacidade de proteger a armadura contra a corrosão.

Além disso, a capacidade pozolânica também pode contribuir para a diminuição da permeabilidade do concreto, aumentando sua resistência à penetração de água, íons e substâncias químicas agressivas, como cloretos e sulfatos.



Portanto, a capacidade pozolânica é uma propriedade importante para materiais utilizados na construção civil, permitindo a melhoria das propriedades e desempenho do concreto, aumentando sua durabilidade e vida útil.

Para a execução do ensaio de pozolanicidade é necessário a preparação de 2 argamassas que possuem dosagens diferentes, que foram denominadas argamassa A e B. A relativa norma apresenta uma tabela com as massas dos materiais que compõem as argamassas A e B, suficientes para a produção de 6 corpos de prova de cada argamassa.

Tabela 1 – Composição das argamassas A e B

Material	Massa g	
	Argamassa A	Argamassa B ^a
Cimento CP II-F-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozolânico	-	156 ± 0,2
Areia Normal ^b	1872,0	1872,0
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2
Aditivo superplastificante	-	^c
a - O material pozolânico e o cimento CP II-F-32 devem ser previamente misturados e homogeneizados em recipiente fechado, durante 2 min, aproximadamente. b - Quatro frações de (468 ± 0,3) g. c - Quantidade de aditivo superplastificante necessária para manter o índice de consistência normal da Argamassa B em ± 10mm do obtido com a argamassa A, determinado conforme ABNT NBR 7215:1997, Anexo B. O aditivo deve ser adicionado na água de amassamento diretamente na cuba. O uso de aditivo é dispensável quando o índice de consistência da argamassa B for igual (± 10mm) ou maior que o da argamassa A.		

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Os corpos de prova foram produzidos em formato cilíndrico com diâmetro da base de 5cm e altura de 10cm, no Laboratório de Construção Civil (LCC) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Os corpos de prova foram produzidos seguindo todos os critérios exigidos por norma para a produção dos mesmos.



Figura 3 - Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Com os resultados do ensaio de compressão torna-se possível o cálculo do índice de pozolanicidade. A tabela 2 expõe os valores finais.

Tabela 2 – Índice de pozolanicidade

(nº)	CP	Indicações Declaradas	f_{cj}	Média f_{cj}	Desvio Relativo Maximo	Índice de Pozolanicidade
			(MPa)	(MPa)	(%)	(%)
1 P		Traço Padrão	27,8	23,93	16,517	
2 P		“	26,8		11,99	
3 P		“	25,9		8,23	
4 P		“	24,9		4,05	
5 P		“	15,8		33,97	
6 P		“	22,4		6,39	
C1	1	Traço CBC1G	18,7	18,87	0,90	78,85
C1	2	“	18,7		0,90	
C1	3	“	19,0		0,69	
C1	4	“	19,1		1,22	
C1	5	“	18,9		0,16	
C1	6	“	18,8		0,37	
C2	1	Traço CBC2G	17,1	17,83	4,09	74,51



C2	2	“	17,3		2,97	
C2	3	“	18,2		2,07	
C2	4	“	18,0		0,95	
C2	5	“	17,9		0,39	
C2	6	“	18,5		3,76	

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Para a análise comparativa do resultado obtido foi utilizada a NBR-12653 “Materiais – Pozolânicos” que estabelece os limites de exigências físicas para que o material seja considerado pozolânico. Como indicado na tabela, o índice de pozolanicidade da cinza CBC1G foi de 78,85% e o da cinza CBC2G foi de 74,51%, o que nos permite concluir que as amostras dos materiais, tanto a CBC1G como a CBC2G, que utilizamos no ensaio não podem ser caracterizadas como material pozolânico pois estão abaixo do valor mínimo estabelecido na NBR-12653: 2014 Versão Corrigida: 2015 que é de 90%.

7 MATRIZES DE CIMENTO

A determinação da composição ideal do concreto possui um limiar difícil de encontrar que se situa entre a inserção da maior quantidade possível de resíduo a ser estabilizado nas matrizes de Cimento Portland e os critérios de dosagem para a produção das peças de concreto para pavimentação que são citados na NBR 9780 Peças de concreto para pavimentação - Determinação da resistência à compressão.

Esta escolha foi determinada de forma empírica, tendo como base o desempenho mecânico obtido em vários concretos com composições que possuem substituições variadas de cimento Portland CPV ARI pelas cinzas CBC1G e CBC2G. Este procedimento nos permite verificar qual é o grau de substituição máximo que garante os critérios estabelecidos pela ABNT para o produto em questão.

Foram produzidos 9 concretos com proporções diferentes entre si, sendo um deles um concreto padrão, e os demais são concretos com teor de substituição de 5, 8, 10 e 12% do cimento pelas cinzas CBC1G e CBC2G e que foram rompidos aos 7º, 28º e 91º dias de cura. O traço padrão foi de 1:3:2 (cimento: areia: brita zero) e relação água/cimento de 0,53.



8 ESTABELECIMENTO DAS COMPOSIÇÕES PRELIMINARES

Os corpos de prova foram feitos no Laboratório de Construção Civil (LCC) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo – USP, São Carlos-SP.

As peças foram produzidas no formato cilíndrico com diâmetro da base de 5cm e altura de 10cm. As formas utilizadas eram feitas em aço garantindo uma superfície ideal para os corpos de prova bem como a reutilização das formas.

A quantidade de água necessária para produzir os concretos foi variável entre os 5 traços propostos pois com o acréscimo de cinza a mistura passa a absorver mais água para que se atinja o Índice de Consistência de 230mm, valor esse escolhido para se obter uma boa trabalhabilidade no concreto durante o processo de produção. Segundo a NBR 5752 (ABNT, 1992), o valor do espalhamento da argamassa não pode ser inferior a 220mm nem superior a 230mm.

Figura 4 - Execução do Ensaio de Consistência



Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Seguem tabelas indicando as quantidades em massa e as proporções de cada traço:

Tabela 3 – Composição do concreto padrão

Padrão	Materiais				Relação a/c
	Cimento(c)	Areia	Brita	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	a	0,53
Massa	900 g	2700 g	1800 g	477 g	

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago



Tabela 4 – Composição com substituição de 5% de cimento por CBC1G/CBC2G

5%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	855 g	2700 g	1800 g	45,0 g	453,2 g	

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Tabela 5 – Composição com substituição de 8% de cimento por CBC1G/CBC2G

8%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	883,2 g	2880 g	1920 g	76,8 g	468,1 g	

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Tabela 6 – Composição com substituição de 10% de cimento por CBC1G/CBC2G

10%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	864 g	2880 g	1920 g	96 g	457,9 g	

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

Tabela 7 – Composição com substituição de 12% de cimento por CBC1G/CBC2G

12%	Materiais					Relação a/c=0,53
	Cimento (c)	Areia	Brita 0	CBC1G/CBCG2	Água	
Traço 1:3:2	1	3	2	1	a	
Massa	844,8 g	2880 g	1920 g	115,2 g	447,7 g	

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

As quantidades em massa descritas nas tabelas foram decididas a partir do volume que possui cada corpo de prova e adotando-se como densidade do concreto o valor de 2400 kg/m³, como descrito na tabela a seguir:

Tabela 8 – Massa do corpo de prova

Densidade do Concreto (g/cm ³)	Volume Corpo de Prova (cm ³)	Massa de cada corpo de prova (g)	Massa de 4 Corpos de prova (g)
2,4	196,35	471,24	1884,96

Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago



Dessa forma os 1800g de cada concreto, acrescido de água até atingir Índice de Consistência 230mm serão o suficiente para a produção dos corpos de prova.

9 VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO

Os corpos de prova foram ensaiados no Laboratório de Construção Civil do Instituto de Arquitetura e Urbanismo. A força de compressão era aplicada uniformemente ao corpo de prova através de duas mesas metálicas que eram ligadas à uma prensa hidráulica com capacidade de 100tf.

As amostras são comprimidas com carregamentos que aumentam de forma linear assim como a resistência do corpo de prova, até o momento em que se atingem deslocamentos sem acréscimo de resistência, o que caracteriza o rompimento (Plastificação).

Figura 5 - Corpo de Prova que atingiu a ruptura



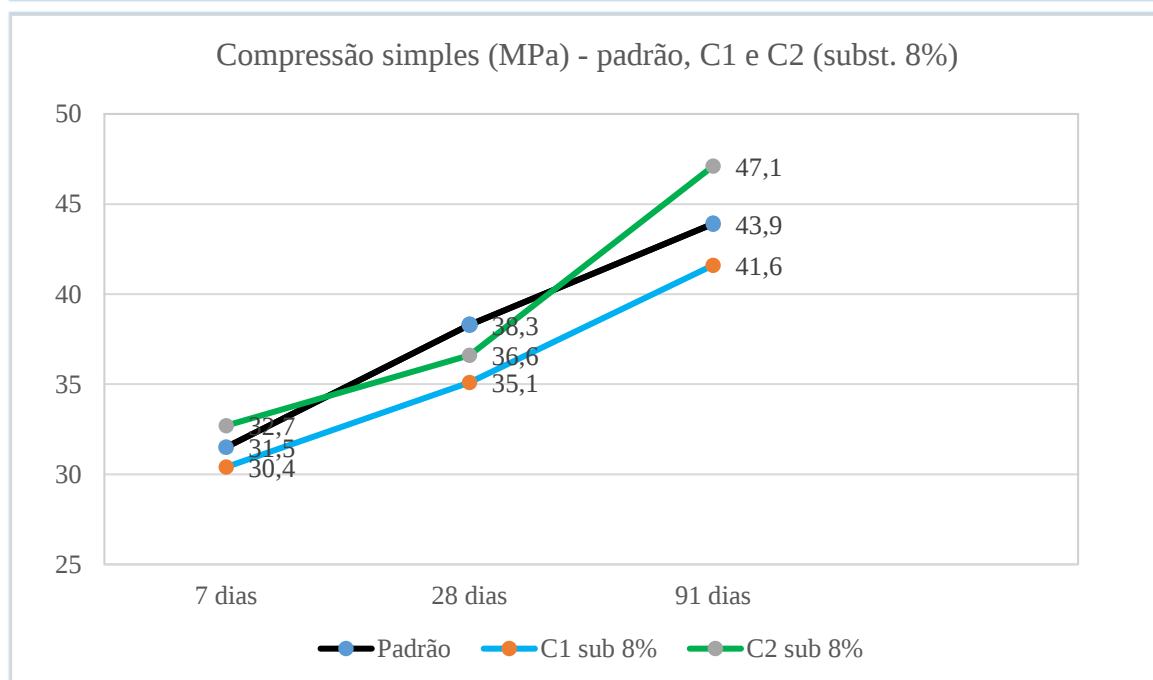
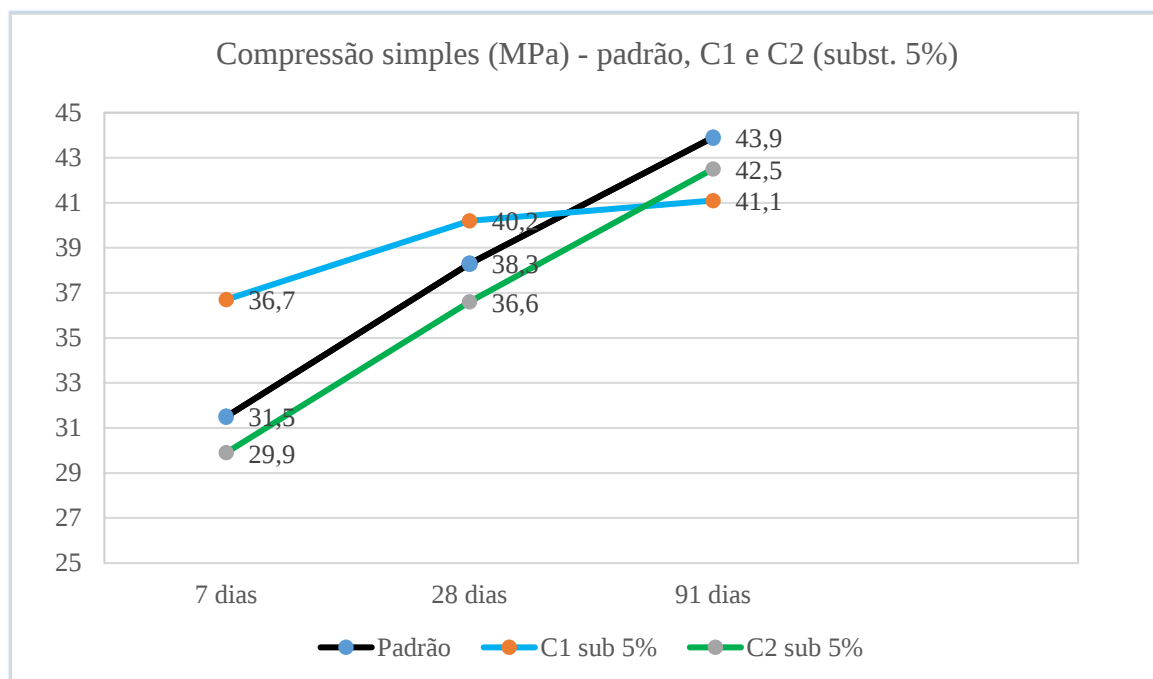
Fonte: Doutorado Mário Sérgio de A. Zago

10 ADEQUAÇÃO DO MELHOR DESEMPENHO MECÂNICO

Após análise comparativa dos ensaios de compressão simples, decidiu-se que a composição adequada que estabiliza a maior quantidade de resíduo e ainda fornece uma resistência à compressão condizente com o desejado foi com substituição do cimento Portland pelas cinzas em até 10%, sendo que a CBC2G obteve resultados mais próximos do traço padrão

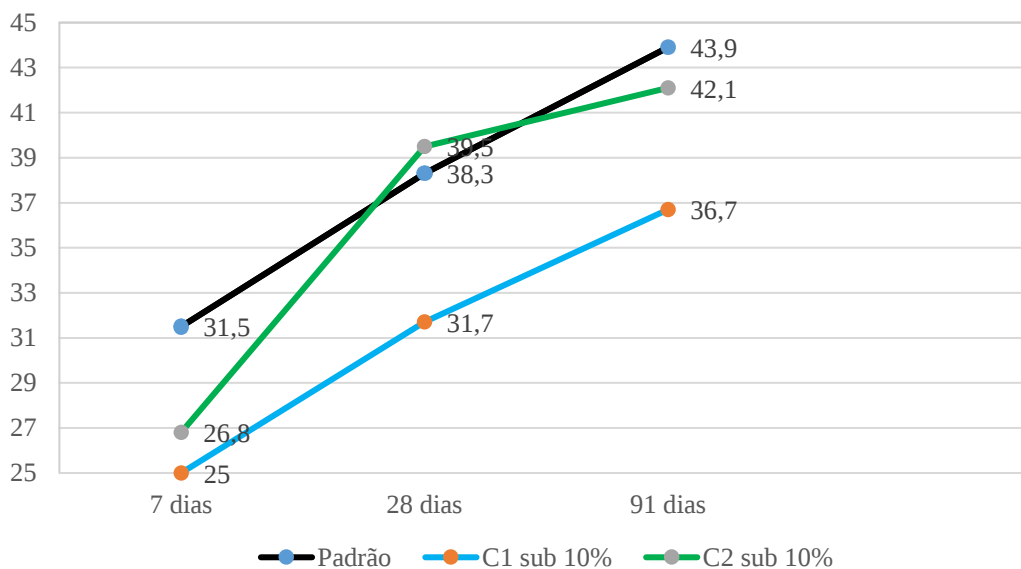


(sem substituição do cimento por cinza) do que a CBC1G para esse percentual de substituição. Com substituição de 12% ambas as cinzas já não satisfazem as resistências desejadas, ou seja, as curvas se distanciam muito da curva padrão como pode ser melhor observado pelos gráficos a seguir.

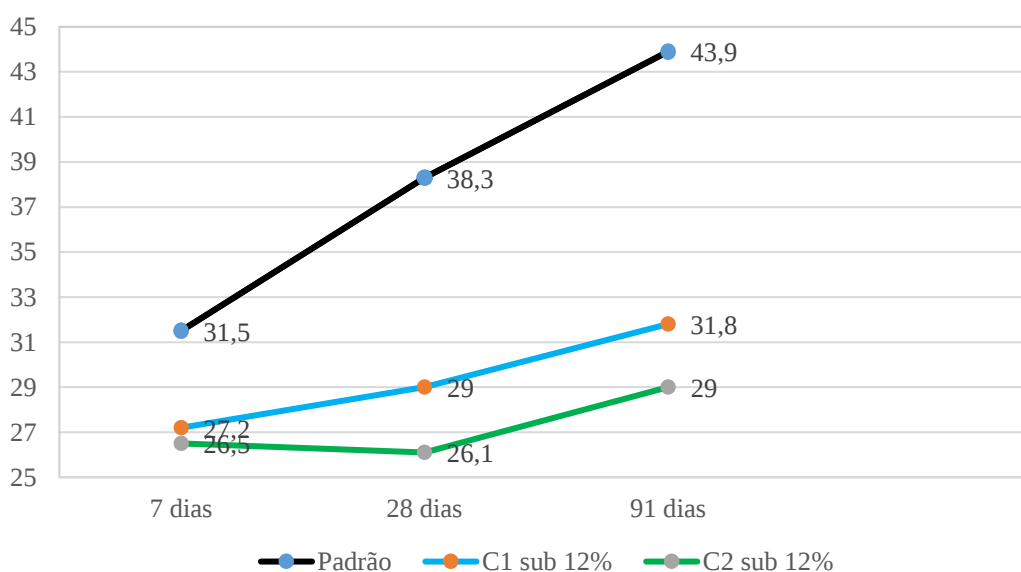




Compressão simples (MPa) - padrão, C1 e C2 (subst. 10%)



Compressão simples (MPa) - padrão, C1 e C2 (subst. 12%)



11 CONCLUSÕES

Inicialmente o trabalho verificou o potencial de contaminação do resíduo CBC1G (Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar gerada na produção do álcool de primeira geração) através dos ensaios de lixiviação e solubilização, classificando-o como classe IIA – não perigoso e não inerte.



Posteriormente, através dos ensaios de composição granulométrica, massa específica, massa unitária no estado solto e área específica o resíduo foi caracterizado.

Em relação à capacidade pozolânica o índice de pozolanicidade do resíduo CBC1G obtido de 78,85% e do resíduo CBC2G de 74,51% permitiu concluir ambos os materiais não possuem capacidade pozolânica, que segundo a NBR-12653:2015 deve ser, no mínimo, de 90% (anteriormente era de 75%) aos 28 dias, com cimento, em relação ao controle.

Dos ensaios obtidos por esse trabalho de pesquisa, pode-se concluir que a substituição de cimento Portland, tanto pela CBC1G como pela CBC2G produziram resultados interessantes até 10%, sendo que a CBC2G gerou melhores resultados, ou seja, mais próximos do traço padrão para esse percentual de substituição.



REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9780, “Peças de Concreto para Pavimentação, NBR 10005; “Procedimento para Obtenção de Extrato Lixiviado de Resíduos Sólidos”. 2004.

_____, NBR 10006; “Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos Sólidos”. 2004.

_____, NBR 10007; “Amostragem de Resíduos Sólidos”. 2004.

_____, NBR 9778 “Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”. 2005 Versão 2006.
avimentação – Determinação da Resistência à Compressão”. 1987.

_____, NBR 9781, “Peças de Concreto para Pavimentação”. 2013.

_____, NBR 5752; “Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias”. 2014.

_____, NBR 12653; “Materiais Pozolânicos”. 2014.

_____, NBR 07211; “Agregados para Concreto”. 1983.

_____, NBR 10004; “Resíduos Sólidos – Classificação”. 2004.

ANJOS, M. A. S.; MOREIRA, H. P.; BORJA, E. V.; PEREIRA, A. C.; NETO, C. A. “Efeito da adição de cinza da biomassa da cana-de-açúcar como finos no concreto auto-adensável”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

BESSA, S. A. L. “Utilização Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Agregado Miúdo Em Concretos Para Artefatos De Infraestrutura Urbana”. 2011. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.

CASTALDELLI, V. N.; CASTRO, J. N. T.; QUEVEDO, V. R. B.; AKASAKI, J. L.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J. P. “Avaliação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (*in natura*) quando adicionado ao concreto”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

CETESB; “Resíduos Sólidos Industriais”. São Paulo, 1985.

CONNER, J.R. & HOFFNER, S.L.; “The History of Stabilization/Solidification Technology”. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, p. 325-396, EUA, 1998.

CORDEIRO, G. C. “Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto”. (tese de doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) 2006.



CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. (2009) “Caracterização de Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar para Emprego como Pozolana em Materiais Cimentícios”. 2009. Revista Química Nova, 32(1), 82-86, 2009.

CORDEIRO, G. C.; RANGEL, R. C. N.; BARROSO, T. R. “Avaliação da resistência à compressão, da compacidade e da retração por secagem de argamassas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar com elevado teor de carbono”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; 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”. Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitações e Infra- Estrutura de Interesse Social. NOCMAT, Pirassununga, São Paulo, 2004.

CSI – THE CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE. (2007). “The cement sustainability Initiative”. Suíça: World Buisness Council for Sustainable Development, 2009. 7p.

DANIALI, S.; “Solidification/Stabilization of Heavy Metals in Latex Modified Portland Cement Matrices”. Journal of Hazardous Materials, V. 24, n. 2-3, p. 225-230, 1990.

DASSAN, K. R. F. O.; FORMAGINI, S.; DASSAN, D. “Produção de blocos de concreto com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

FREITAS, E. G. A., RODRIGUES, E. H. V., ARAÚJO, R. C. L., FAY, L., 1998, “Efeito da adição de cinzas de bagaço de cana na resistência à compressão de argamassa normal”, In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, v. 4, Poços de Caldas, Brasil.

HANNA, R.A.; “Estudo da Estabilização por Solidificação de Produtos Tóxicos em Cimento Portland: Uma Análise em Nível Microestrutural”. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 1996.

JOHN, M. V. “Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à Pesquisa e Desenvolvimento”. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2000.

LIMA, S. A.; SALES, A.; SANTOS, T. J. Caracterização físico-química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando o seu uso em argamassas e concretos como substituto do agregado miúdo. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

MACEDO, P. C. “Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar”. Dissertação, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Ilha Solteira/SP, 2009a.

MACEDO, P. C.; CASTALDELLI, V. N.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; FIORITI, C. F.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J. P. “Revisão bibliográfica sobre o uso de cinza de bagaço



de cana-de-açúcar na construção civil” – Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009b.

MACKAY, M. & EMERY, J.; “Stabilization/Solidification of Contaminated Soils and Sludges Using Cementitious Systems”. Cement Industry Solutions to Waste Management, Proceedings, p. 135, Calgary, 1992.

MARTINS, C. M.; ZANELLA, R. M. “Avaliação da absorção por capilaridade em argamassas produzidas com cinza do bagaço de cana-de-açúcar” – Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.

MORETTI, J.P.; “Estudo de viabilidade técnica da utilização da ACBC e do RCC na composição de concretos”. Dissertação de Mestrado, UFSCar, 2014.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 1994, “Concreto: estrutura, propriedades e materiais”, 1 ed. São Paulo: Editora Pini.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., 2008, “Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”, 1 ed. São Paulo: Editora Pini.

MODANIA, P. O.; VYAWAHAREB, M. R. Utilization of Bagasse Ash as a Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete. Procedia Engineering, 51, 2013, p.25 - 29.
NEVILLE, A. M., 1997, “Propriedades do concreto”, 2 ed. São Paulo: Editora Pini.

NUNES, I. H. S. “Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção”. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, UEM, Centro de Tecnologia, Maringá, 2009.

PABLOS, J.M.; “Utilização do Resíduo Sólido Gerado pelo Descarte das Areias de Fundação Aglomeradas com Argila no Setor de Construção Civil”. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, 1995.

PABLOS, J.M.; “Estudo para a Reutilização do Resíduo Sólido Constituído pelas Areias de Fundação Aglomeradas com Argila, através da Técnica de Solidificação/Estabilização em Matrizes de Cimento Portland, para Aplicação no Setor da Construção Civil”, Tese de Doutorado, EESC-USP, 2008.

PAULA, M. O. “Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland”. (dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa (UFV) 2006.

POON, C.S. & CLARCK, A.I. & PERRY, R.; “Permeability Study on the Cement Based Solidification for the Disposal of Hazardous Wastes”. Cement and Concrete Research, V. 16, p. 161-172, EUA, 1986.

SAITO, L.M. & LEÃO, M.L.G. & NETO, P.P.C.; “Encapsulamento de Resíduos Industriais Perigosos”. 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, Maceió, 1985.



SALES, A.; LIMA, S. A.; SANTOS, T. J.; CORDEIRO, S. G. F.; CERRALIO, B. S. “Argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao cimento Portland: influência do tipo de queima do bagaço”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

SARMIENTO, C. R.; FREIRE, W. J. “Argamassa de cimento e areia combinada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar”. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.17, n.2, p.1-8, dez. 1997.

SCHALCH, VALDIR., 2019, “Resíduos Sólidos - Conceitos, Gestão e Gerenciamento”, 1 ed. São Paulo: Editora Elsevier.

SOUSA, L. R. L.; FIGUEIREDO, E. P.; RÊGO, J. H. S. “Caracterização de compósitos de cimento com substituição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) em diferentes teores”. Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2010.

SOUTO, J. M. F. “Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos”. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, UEM, Centro de Tecnologia, Maringá, 2010.

ZARDO, A. M. “Utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento”. I ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Anais. São Paulo:2004