

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM
ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA**

ELTON BRUNO GIORDANO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016**

FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA

ELTON BRUNO GIORDANO
Graduando em Engenharia Agrícola

Orientador: PROF. DR. RODRIGO APARECIDO JORDAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G497f Giordano, Elton Bruno

Fabricação de tijolos de solo-cimento com adição de cinza de bagaço de cana / Elton Bruno Giordano -- Dourados: UFGD, 2016.

21f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Rodrigo Aparecido Jordan

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Resíduos. 2. Ecológico. 3. Ambiente. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

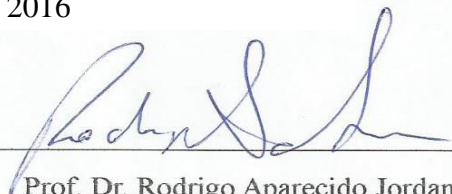
**FABRICAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM ADIAÇÃO DE
CINZA DE BAGAÇO DE CANA**

Por

ELTON BRUNO GIORDANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 29 / 09 / 2016



Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan
Orientador -UFGD/FCA



Prof. Me. Elton Aparecido Siqueira Martins
Membro da Banca - UFGD/FCA



Eng. Civil Matheus Viero da Costa
Membro da Banca - UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por sempre iluminar meus caminhos, nesta longa caminhada.

À minha mãe Eliane Giordano, pelo amor, paciência e apoio incondicional. Sem ela, nada disso teria sido concretizado.

À UFGD, por ser a responsável pela estrutura do curso de Engenharia Agrícola.

Ao orientador, Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan, pelos ensinamentos, paciência, boas conversas, conselhos e amizade.

Ao Prof. Dr. Alfredo Petruski, por toda a ajuda e direcionamento até a chegada à Unioeste, disponibilizando o laboratório e o material para os ensaios, por todas as sugestões e conselhos.

À Prof. Dr.^a Anamari Viegas de Araujo Motomiya, por todo o ensinamento, ajuda e dedicação nos dados estatísticos, conselhos e amizade.

Ao técnico de laboratório, Maxer Rosa, por toda a ajuda nos testes de laboratório da Unioeste, por toda a dedicação e empenho para que os ensaios ocorressem da melhor maneira, por todas as sugestões, conselhos e amizade na realização deste trabalho.

À Usina São Fernando (Dourados – MS), pela disponibilidade do material (Cinza do Bagaço-de-Cana), utilizado na fabricação dos tijolos solo-Cimento.

Ao Prof. Me. Elton Aparecido Siqueira Martins, por toda a ajuda, sugestões, conselhos e amizade na realização deste trabalho.

Ao Eng. Civil Matheus Viero da Costa, por todo direcionamento, ajuda, conselhos e sugestões na realização deste trabalho.

À Maria Augusta S. de Souza, pela amizade, por ter acompanhado boa parte deste trabalho ao meu lado ajudando.

A todos os professores da Faculdade de Ciências Agrárias, por transmitir todos os seus conhecimentos, para a minha formação acadêmica, em especial os professores Luciano Oliveira Geisenhoff e Guilherme Augusto Biscaro.

Agradeço a todos os meus amigos da graduação, em especial Rogério A. de Oliveira, Paulo S. V. Filho, Maurício marques, Camilo O. A. Araújo, Rafaela B. Venâncio, Lucas R. Pavão e Lidiane D. Gomes, Lucas M. de Lima, Carlos M. M. M. Silva.

A todos que me ajudaram indiretamente e diretamente nesse período de

graduação!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 . Bagaço da cana-de-açúcar.....	2
2.2 . Características da cinza.....	2
2.3 . Moagem	3
2.4 . Solo	3
2.5 . Resistência à compressão	4
2.6 . Absorção de água.....	5
2.7 . Fabricação do tijolo ecológico	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS	7
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1. Resultados do ensaio de absorção de água.....	14
4.2 . Resultados do ensaio de compressão	16
5. CONCLUSÃO	18
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

GIORDANO, E.B. **Fabricação de Tijolos de solo-cimento com adição de cinza de bagaço de cana**. 2016. 21p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados –MS.

RESUMO

A possibilidade de incorporação, pela indústria do concreto, de resíduos agroindustriais merece destaque, principalmente em razão dos grandes montantes gerados anualmente. Neste aspecto, a cinza do bagaço de cana, em virtude da presença preponderante de sílica na composição química, apresenta-se como matéria-prima potencial para a produção de cimento composto e/ou de adição mineral pozolânico para pastas, argamassas e concretos. Nesse contexto uma tecnologia criada para tentar minimizar os danos ao meio ambiente foi a fabricação de tijolos ecológicos. Objetivou-se com o presente trabalho, realizado na região de Dourados/MS, avaliar a influência da adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na resistência e absorção de água de tijolos de solo-cimento. O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x2, (três traços e dois ambientes de cura: ao ar livre e o protegido). O solo utilizado no experimento foi uma mistura de dois solos (argiloso e arenoso), na proporção em massa de 0,8:1. Os traços foram utilizados nas seguintes proporções em volume (cimento, solo, cinza): traço 1 (1:6:4); traço 2 (1:7:3); traço 3 (1:10:0). Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água foram menores que 20%, como recomendado na NBR 10.834, já os resultados do ensaio de resistência à compressão simples não alcançaram os valores médios, segundo essa NBR, que eram de 2 MPa.

Palavras-chave: Tijolo ecológico; Resistência a compressão; Absorção de água.

1. INTRODUÇÃO

Uma das atividades mais antigas do Brasil é a agroindústria sucroalcooleira. Os subprodutos remanescentes dessas atividades são águas de lavagem, bagaço, folhas e pontas, vinhaça, torta de filtro e leveduras. O bagaço da cana é um subproduto utilizado para a produção de energia. Para cada tonelada de cana moída, produz-se, em média, 250 kg de bagaço, que, quando queimados, seu vapor é utilizado para a geração de eletricidade. Nesse contexto, as termoelétricas, presentes nas usinas, geram energia para tornar estas autossuficientes e também comercializam a energia excedente (Relatório de sustentabilidade, 2010).

O processo de cogeração tem a vantagem de tornar a usina autossustentável, porém produz 25 kg de cinzas residuais para cada tonelada de bagaço queimado (FIESP/CIESP, 2001). Esse resíduo acumula-se nas usinas, pois não possui finalidade específica. Nunes (2008) realizou uma pesquisa sobre as propriedades físicas e químicas da cinza do bagaço da cana (CBC) para o aproveitamento desse material na construção civil, e foi comprovada a presença de sílica em sua composição que, ao ser moída em granulometria muito fina, apresenta alta atividade pozolânica e efeito filer, confirmando que a cinza do bagaço da cana pode ser um composto usado na substituição parcial do cimento.

Segundo GIBBONS (2003) a atividade pozolânica é “um material silicioso ou silicioso e aluminoso que, por si próprio, possui pouco ou nenhum valor cimentante mas que irá, se em forma finamente dividida e na presença da umidade, reagir quimicamente com o hidróxido de cálcio a temperaturas correntes, para formar compostos detentores de propriedades cimentante”.

A granulometria da cinza do bagaço da cana influencia diretamente no índice de atividade pozolânica, pois a cinza moída eleva sua superfície específica, isto ocorre devido ao tamanho das partículas. Ela está diretamente relacionada à finura do material, influenciando no grau de atividade pozolânica (CORDEIRO, 2006).

O critério de escolha da mistura para a fabricação de tijolos modulares foi estudar a viabilidade da produção de tijolos de solo-cimento-cinza, utilizando a cinza com o objetivo de reaproveitar este material que temos em abundância na região, pois Dourados é cercado por várias usinas de cana-de-açúcar, onde a sobra de cinzas é muito abundante.

Considerando a importância de reaproveitar este material em abundância na região, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na resistência e absorção de água de tijolos de solo-cimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 . Bagaço da Cana-de-açúcar

O Brasil é considerado o maior produtor de açúcar do mundo, gerando grandes quantidades de bagaço de cana, que geralmente é prensado e queimado pelas usinas na produção de energia (CONAB 2009). Este processo produz um abundante resíduo de cinzas de bagaço de cana (CBC) que muitas vezes é descartado de maneira incorreta no meio ambiente (PARANHOS, 2010).

O bagaço de cana, que já tem sido explorado como fonte de energia (em combustão) e de sílica microparticulada, abundante nas cinzas resultantes da sua queima, que é hoje um importante aditivo de cimentos Portland (SAVASTANO e WARDEN, 2003).

O bagaço da cana-de-açúcar é composto aproximadamente por 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina. Após a queima, a parte remanescente é um material cuja composição química revela a presença predominante de dióxido de silício, no qual devido às características de queima e granulometria pode desenvolver atividade pozolânica (CORDEIRO et al., 2004).

2.2 . Características da cinza

A cinza do bagaço de cana é um material rico em sílica, óxido de silício (SiO_2), com teor acima de 60% em massa, e possui outros óxidos em pequenas proporções como por exemplo: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO e outros, cujo o teor pode variar de acordo com o tipo de cana cultivada, fertilizantes e herbicidas, além de fatores naturais, tais como clima, solo e água (CORDEIRO, 2009).

Originalmente, o termo pozolana era atribuído às cinzas de origem vulcânica que reagem com a cal em presença de água, à temperatura ambiente. No decorrer do tempo, a definição foi estendida a outros materiais que, embora de origens diversas, exibem comportamento semelhante. Atualmente, considera-se pozolânico todo material inorgânico, natural ou artificial, silicoso ou alumino-silicoso que por si só não apresenta atividade hidráulica. Entretanto, quando finamente moído e em presença de água, reage com o hidróxido de cálcio (ACI 116.R-00,2002).

Segundo Teixeira “A cinza apresenta grande concentração de sílica, que tem comportamento de cimento pozolânico. A cinza, em contato com a água e em conjunto com

cal hidratada, forma um composto aglomerante, ou seja, ela endurece, o benefício de se utilizar produtos reciclados na composição do tijolo ecológico é a redução de custos que existe quando conseguimos diminuir os gastos com os materiais que compõe a fabricação do tijolo.

Um estudo desenvolvido por CORDEIRO et al. (2009) apresenta uma distinção entre efeitos físicos e químicos em argamassas, promovidos pela cinza do bagaço em conjunto com cimento Portland. Com base nos estudos citados é possível considerar a cinza do bagaço como um material viável a ser utilizado em concretos.

2.3 . Moagem

CORDEIRO et al. (2004), realizou estudo do processo de moagem da cinza do bagaço da cana-de-açúcar visando seu emprego como aditivo mineral para concreto onde concluiu que na moagem convencional a redução do tamanho das partículas em função do tempo de moagem é significativa.

Entretanto, é necessário 960 min para que alcance um diâmetro médio relativo de 8 μ m. Observou ainda que o aumento do tempo de moagem de 480 min para 960 min resultou em uma redução pouco significativa no tamanho das partículas. E que a redução do tamanho das partículas e consequente aumento da superfície específica resultou no aumento da atividade pozolânica da cinza.

2.4 . Solo

Outro fator importante além da cinza é o solo, o qual deve ser utilizado um critério para a sua seleção, pois o solo é de composição muito complexa e heterogênea o que influencia diretamente na resistência e absorção de água dos tijolos ecológicos. Duas propriedades importantes norteiam a estabilização do solo: textura e estrutura. A estabilização modifica o conjunto de solo-água-ar. Consequentemente influencia o produto final, no que se diz respeito ao aumento da resistência mecânica, estabilidade dimensional, diminuição da permeabilidade, controle das fissuras por retração e por secagem e aumento da durabilidade do material (MIELI, 2009).

A estabilização do solo pode ser feita através da mistura de dois ou mais solos, onde a adição de finos ao solo arenoso provoca a coesão do solo para moldagem de tijolos prensados. A correção da granulometria apresenta resultados satisfatórios nos ensaios de

resistência a compressão simples, quando a mistura é feita de maneira adequada (SOUZA e BARBOZA, 2000). Segundo a ABNT, o solo deve se enquadrar dentro da curva granulométrica, com aproximadamente 70% de areia e 30% de argila e silte.

A resistência mecânica é influenciada diretamente pela massa específica, quanto maior a massa específica, maior a resistência. Deve-se trabalhar com umidades com valores ótimos, pois quanto mais denso, maior os valores de resistência (MIELI, 2009). A compactação é o processo pelo qual se reduz o volume de vazios do material e aumenta sua massa específica (BAUER, 2000).

Um dos testes existentes usados para a determinação da umidade ótima é empírico e se chama, teste do bolo, que consiste em adicionar água em forma de chuveiro, encher a mão com a mistura de solo-cimento e apertar essa porção com muita força contra a palma da mão, feito isso abre-se a mão e o bolo formado deve apresentar marcas dos dedos com nitidez e ao partir em duas partes, o bolo não pode esfarelar, se o bolo esfarelar ao partir é porque a mistura está com pouca água e se sujar a mão com uma certa umidade é porque está com excesso de água (NEVES, 2005).

2.5 . Resistência à compressão

A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 10836 deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão igual ou maior que 2,0 Mpa (20 kgf/cm²), e nenhum dos valores individuais deve ser inferior à 1,7 Mpa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias.

Os ensaios à compressão simples, de casa amostra devem ser preparados sete corpos de prova, da seguinte maneira;

a) o corpo de prova antes de ser submetido ao ensaio deve apresentar suas faces planas e paralelas para que haja perfeito contato entre as superfícies de trabalho, podendo ser regularizadas por meio de retificação adequada ou capeamento com pasta de cimento Portland, com espessura máxima igual a 3 mm. A resistência da pasta de cimento não pode ser menor que a do bloco em ensaio;

b) após a regularização das faces de trabalho, identificar e colocar os corpos de prova em imersão em água por 6 h;

c) retirar os corpos de prova logo antes do ensaio e enxugá-los superficialmente com pano levemente umedecido;

d) as dimensões das faces de trabalho devem ser determinados com exatidão de 1mm sem desconto das áreas de furos ou reentrâncias;

- e) o corpo de prova deve ser colocado diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de maneira a ficar centrada em relação a este;
- f) a aplicação da carga deve ser uniforme e á razão de 500 N/s (50 kgf/s);
- g) a carga deve ser gradativamente elevada até correr a ruptura do corpo de prova;

2.6 . Absorção de água

A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 10836 deve apresentar a media dos valores de absorção de água igual ou menor que 20%, e valores individuais iguais ou menores que 22%, com idade mínima de sete dias.

Os três corpos de prova restante da amostra retirada de cada lote formam a amostra para cada ensaio de absorção de água.

Secar os corpos de provas em estufa, entre 105 a 110°C, até constância da massa, obtendo-se assim a massa m_1 do corpo de prova seco, em gramas (g).

Imergir o corpo de prova em um tanque durante 24 h. A imersão deve ser feita depois dos corpos de prova atingir a temperatura ambiente. Após retirar da água, enxugar superficialmente com um pano levemente umedecido e pesar (antes de decorrido 3 min), obtendo-se assim a massa do corpo de prova saturado m_2 , em gramas (g).

2.7 . Fabricação do tijolo ecológico

A adição de cinza do bagaço de cana nos tijolos ecológicos reduz os custos em relação a outros tijolos, e conseqüentemente, aproveitam resíduos que não tem finalidade específica nas usinas. A confecção desses tijolos ecológicos é uma alternativa vantajosa nos quesitos econômicos e ambientais no ramo da construção civil. Entretanto, o processo da queima do bagaço da cana é a etapa que influencia na qualidade e composição química da cinza, pois o procedimento da queima deve ser completo, sem sobras de bagaço, para que se possam aumentar os teores de (CBC) no processo (PAULA, 2009).

O tijolo solo-cimento é considerado ecológico porque sua produção dispensa a etapa de queima, o que elimina o uso de óleo combustível ou madeira. Os tijolos ecológicos diferentemente dos tijolos cerâmicos não necessitam da retirada de argila que se encontra nos cursos d'água, provocando erosão e assoreamento de rios (MOTTA, 2014). Isto evita a emissão de grandes quantidades de gases causadores do efeito estufa no ambiente e o desmatamento. Por outro lado, a fabricação de mil tijolos cerâmicos tradicionais consome

cerca de 120 kg de óleo combustível ou cinco árvores de médio porte (FIQUEROLA, 2004).

Segundo a ABCP (1986), o tijolo de solo cimento é uma mistura de solo, cimento e água que quando compactado na umidade ótima e sob massa específica seca, com proporções previamente estabelecidas, ganha resistência e durabilidade com a hidratação do cimento. Os principais influenciadores das propriedades dos tijolos de solo-cimento são: Tipo de solo, umidade, teor de cimento, compactação e homogeneidade da mistura.

No meio rural, os tijolos ecológicos estão sendo usados na construção de aviários, galpões, celeiros e depósitos, devido aos furos nos tijolos promovem o isolamento térmico, acústico e proteção de umidade. Formando câmaras térmicas evitando que o calor que esta do lado de fora penetre no interior da construção, diminuindo os ruídos provocados pelo lado externo e esses furos também propiciam a evaporação do ar, evitando com isso, a formação de umidade nas paredes e interior da construção, que causa danos à saúde e danos materiais (MOTTA, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campus da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), durante o período de maio 2014 a julho 2015. Na composição dos materiais para a fabricação dos tijolos de solo-cimento, foi utilizado cimento tipo Portland CP II-E-32, na proporção volumétrica de uma medida de cimento para dez de solo. O solo utilizado foi constituído de uma mistura de solo argiloso com solo arenoso, numa relação, em massa, de 0,8:1,0. O solo arenoso foi coletado no município de Itahum-MS (solo 1), nas coordenadas 22°0'0" de latitude sul e 55°19'59" de longitude norte. O solo argiloso foi coletado no campus II da UFGD, município de Dourados/MS (solo 2), nas coordenadas 22° 11' 45" de latitude sul e 54° 55' 18" de longitude norte. Na Tabela 1 é mostrado o resultado da análise da composição dos dois solos, realizada pela EMA (Empresa de Monitoramento Agropecuário LTDA), de Dourados-MS.

TABELA 1. Análise granulométrica dos solos utilizados.

Solo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
1	86	2,5	11,5
2	16,4	18,1	65,5

Após a coleta, os solos foram trazidos e colocados para secar ao Sol por quatro dias. Após a secagem, os solos foram peneirados em peneira número 4 (4,8 mm), para uniformizar a granulometria e retirar qualquer material estranho.

A cinza de bagaço de cana foi obtida com a usina Nova América, situada no município de Caarapó/MS. Sua queima foi feita a 600 °c, obtendo 2,1% de umidade restante, e estocada no campo em local aberto. Conseqüentemente, a cinza coletada apresentava elevado teor de umidade. Além disso, o material mostrava alto teor de impurezas, como carbono e restos de bagaço não queimados no processo de combustão, como demonstrado na Figura 1.



FIGURA 1. Área de coleta da cinza do bagaço da cana.



FIGURA 2. Secagem da cinza ao ar livre.

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial de 3 x 2. Serão 6 tratamentos e 13 repetições, totalizando 78 tijolos, mantendo fixa a quantidade de cimento e substituindo parcialmente o solo dos tijolos por cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Os tratamentos se dividirão em 3 dosagens de cinzas 0, 30 e 40%, 2 tipos de cura, ambiente protegido e ao ar livre. Foram adotados os seguintes traços em proporção volumétrica (cimento:solo:cinza): traço 1 (1:6:4); traço 2 (1:7:3); traço 3 (1:10:0).

Visando melhorar o controle na dosagem dos componentes, o traço em volume foi convertido para traço em massa, multiplicando-se a proporção de cada componente do traço em volume pela sua respectiva massa unitária (kg/dm^3), como representado na Figura 3.



FIGURA 3. Determinação da massa unitária

Para a determinação da massa unitária, empregou-se o método recomendado pela NBR 7.251. Esta norma prescreve o método para a determinação da massa unitária do agregado em estado solto. A massa unitária foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$\gamma = M_s \times V_r \quad (1)$$

em que:

γ : massa unitária (kg/dm^3);

M_s : massa seca (kg); e

V_r : Volume do recipiente (dm^3).

No processo de fabricação, primeiramente, foi realizada a mistura dos dois solos, como demonstrado na Figura 4, seguida pela adição de cimento e da cinza do bagaço da cana. Após a homogeneização da mistura, foi feita a adição da água, numa proporção de 10% da massa da mistura de solo-cimento-cinza. Os tijolos fabricados foram colocados em paletes de madeira para iniciar o processo de cura. A cura foi iniciada após o período de 6 horas da fabricação dos tijolos.



FIGURA 4. Mistura do solo argiloso e arenoso

Os tijolos submetidos à cura no ambiente protegido foram cobertos por uma lona preta. A umidificação dos tijolos submetidos aos dois tipos de cura foi realizada sempre nos mesmos horários, às 09 h da manhã e às 16 h da tarde, durante sete dias. Após esse período, foram armazenados em local protegido por 180 dias.

Foram fabricados 78 tijolos ao total, 26 de cada traço, 13 por tratamento. De cada tratamento, foram utilizados sete tijolos para o ensaio de resistência à compressão simples e três tijolos para o ensaio de absorção de água.

Os fatores testados foram absorção e resistência à compressão. A análise estatística foi realizada pela análise de variância e Teste de Tukey. Os ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples foram realizados no Laboratório de Estrutura e Materiais da Engenharia (LEME), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), na cidade de Cascavel/PR.

O ensaio de absorção foi realizado conforme a NBR 10.836. Primeiramente, os corpos de prova foram levados a uma estufa a 105°C, como Figura 5, durante 24 horas, depois disso foram pesados até manterem uma massa constante; logo após esse procedimento, os corpos de prova foram colocados em uma bancada até entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente.



FIGURA 5. Secagem dos tijolos em estufa de circulação forçada.

Na segunda parte do ensaio de absorção de água, os corpos de prova foram submersos, em um recipiente com água onde ficaram por aproximadamente 24 horas, como (Figura 6), depois disso, foram retirados e colocados em uma bancada, onde foi retirado o excesso de água, e, após, foram pesados.



FIGURA 6. Tijolos embebidos em água.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a NBR 10.834, em que é descrita a maneira de realizar os procedimentos que antecedem o pré-ensaio até os procedimentos do ensaio. Para o ensaio de resistência à compressão simples, foram utilizadas

sete unidades de corpos de provas, formando uma amostra representativa de cada tratamento.

Primeiramente, foi necessário medir os corpos de prova, em toda a sua dimensão de comprimento, largura e altura, como representado na Figura 7. Logo após a medir com paquímetro de tolerância de ± 1 mm, foi necessário o capeamento dos tijolos com argamassa, sendo a resistência da argamassa maior que o corpo de prova. No procedimento de capeamento, foi utilizado cimento Portland misturado com água, assim formando a argamassa, para realizar a regularização das faces planas e paralelas com espessura de 3 mm, representado na Figura 8.



FIGURA 7. Medição dos tijolos.

Na Figura 8 é mostrado os tijolos capeados com argamassa.



FIGURA 8. Tijolos capeados com argamassa.

Após o capeamento, como representado na Figura 8, foram aguardadas 24 horas aproximadamente para a secagem da argamassa. Depois do capeamento seco, os corpos de prova permaneceram por 6 horas imersas em água. Retirados da submersão, os corpos de prova foram enxugados superficialmente com um pano levemente umedecido e colocados diretamente na máquina de ensaio à compressão, um a um, de forma que ficassem centralizados, como representado na Figura 9.



FIGURA 9. Ensaio de compressão simples dos tijolos ecológicos.

4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados do ensaio de absorção de água

Os ensaios de absorção de água dos corpos de prova em questão apresentaram resultados condizentes a valores mínimos de absorção de água de acordo com a ABNT NBR 10.836, que assim deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor que 20 % e valores individuais iguais ou menores que 22% (Tabela 2).

TABELA 2. Resultados do ensaio de absorção no ambiente ao ar livre e ambiente protegido (médias dos tratamentos).

Cura	Traço 1 (%)	Traço 2 (%)	Traço 3 (%)
Ar livre	17,39	18,57	17,44
Protegido	19,00	19,51	17,35

A análise de variância, aplicada aos dados de absorção de água, mostrou que não houve diferença significativa entre os dois ambientes, porém houve diferença entre as misturas. A interação entre ambos não foi significativa. Contudo o teste de Tukey foi utilizado para verificar se havia diferenças entre as médias, considerando a variação dos tratamentos. Observamos que não houve diferença significativa entre os ambientes, levando a conclusão que a cura dos tijolos ambiente protegido tem a mesma influência de cura do ambiente ao ar livre, no que se refere a absorção de água, mostrado na Figura 10.

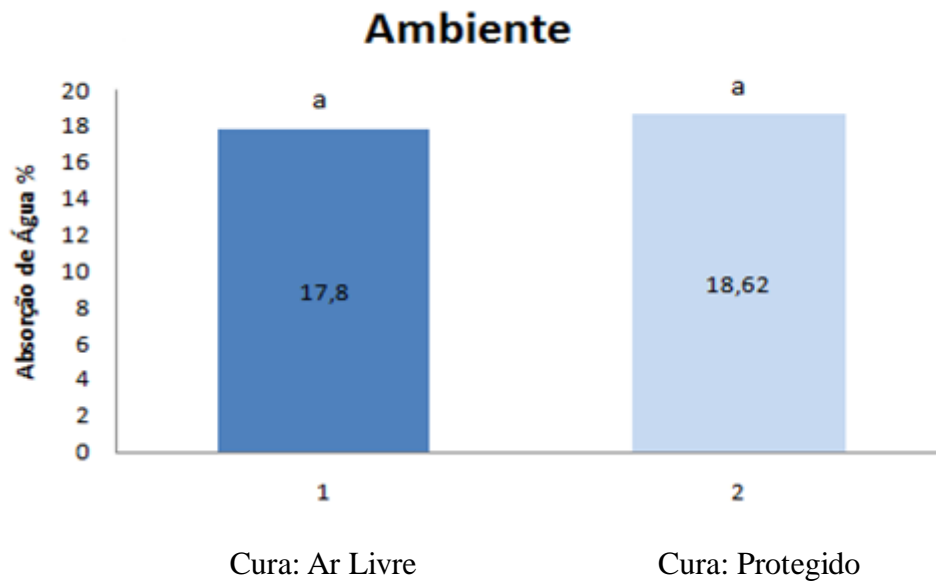


FIGURA 10. Absorção de água por Imersão (%) - Ambiente.

Observou-se que houve diferenças significativas na absorção de água entre os tipos de mistura. O traço 1 (1:6:4) não apresentou diferença entre os traços 2 e 3. Contudo os traços 2 e 3 apresentaram diferenças significativas entre si, conforme apresentado na Figura 11.

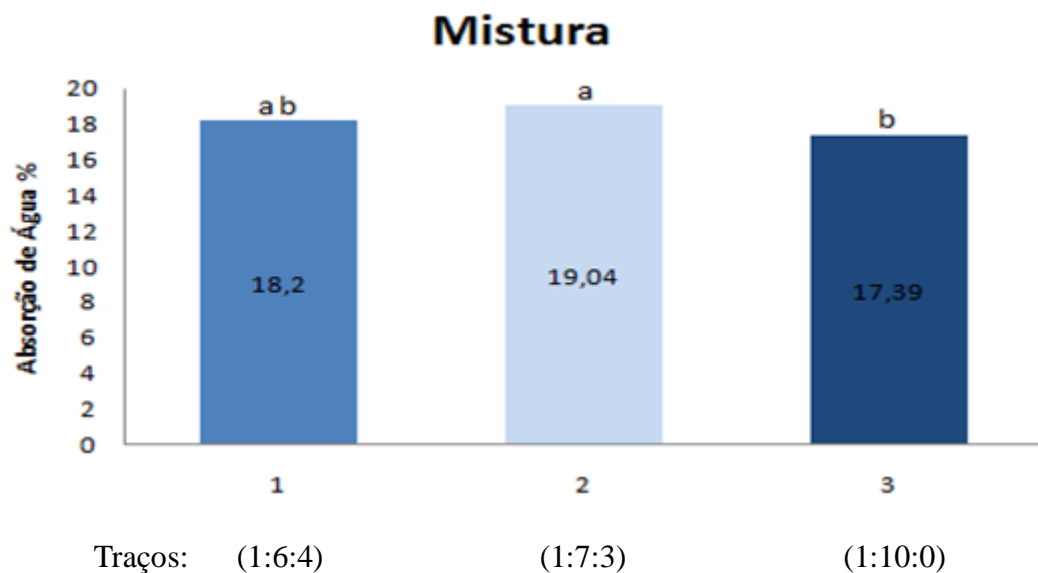


FIGURA 11. Absorção de água por Imersão (%) – Mistura.

Nota-se que os valores de absorção de água nos traços 1 e 2 são maiores, que possuem o traço com cinza. Isso se deve ao fato de que os tijolos com cinza do bagaço da cana na sua composição tendem a ser mais porosos.

4.2 . Resultados do ensaio de compressão

Nos ensaios de compressão, os tratamentos não apresentaram valores de resistências requeridos, de acordo com a NBR a média dos valores de resistência a compressão deve ser igual ou maior que 2,0 Mpa e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 Mpa. Diante disso verificou-se que a fabricação dos tijolos ecológicos de solo-cimento com adição da cinza sem um pré-tratamento da cinza bagaço de cana, com peneiramento e uniformização, apresentou resultados abaixo dos valores mínimos no ensaio de resistência à compressão (CORDEIRO, 2006). No caso do tratamento que não contém cinza, a proporção de dois solos (arenoso e argiloso) não superou a resistência de 2MPa.

A análise de variância no ensaio de resistência mostrou alto grau de significância, tanto no ambiente quanto na mistura, em nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey, assim mostrando diferença nos ambientes, conforme Figura 12 .

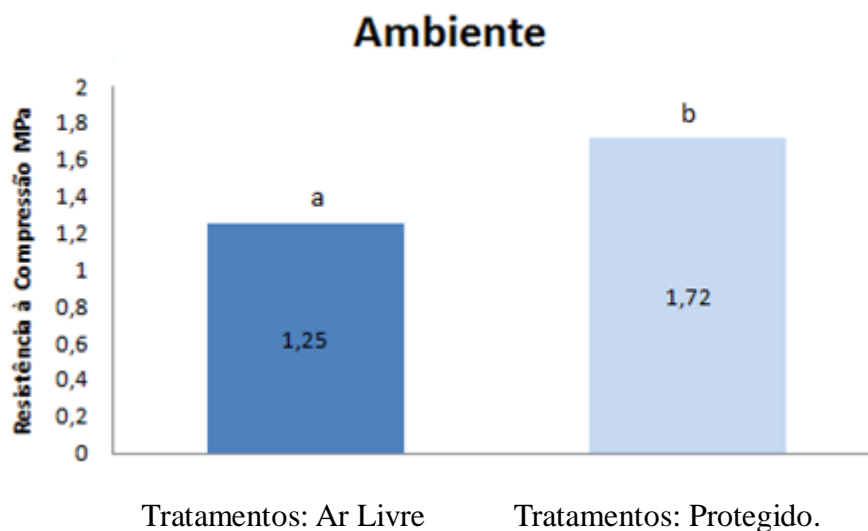


FIGURA 12. Resistência à compressão (MPa) – Ambiente.

Portanto o ambiente protegido apresentou resultado de resistência maior que o ambiente ao ar livre. Contudo a relação entre os traços apresentaram diferença significativa entre os traços 1 e 3, porém os traços 1 e 2 não diferem entre si, como é possível ver na Figura 13.

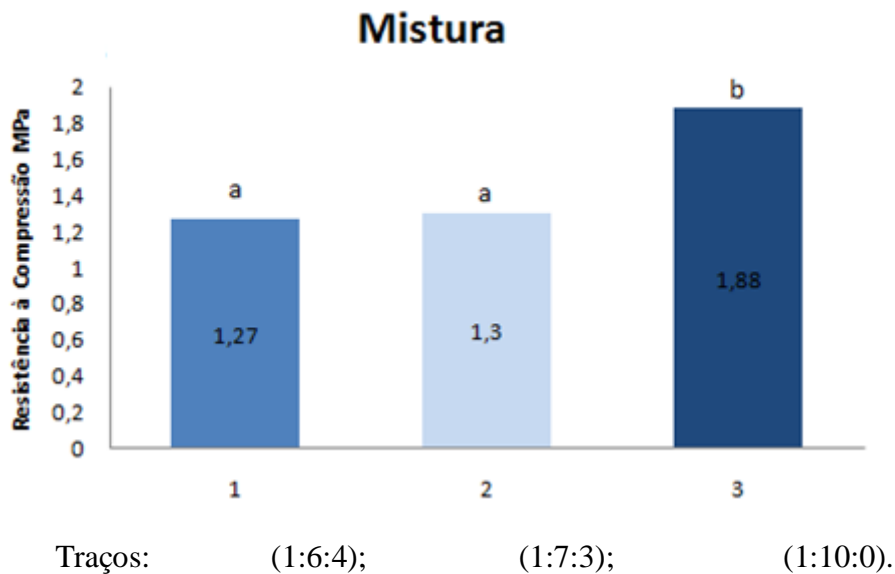


FIGURA 13: Resistência à compressão (MPa) – Mistura.

As médias estatísticas do ensaio de resistência à compressão, comparada com o ensaio de absorção de água, mostraram que o aumento da resistência apresentou-se na presença de baixa absorção. Os tratados com cinza se tornaram mais porosos, diminuindo a sua resistência e absorvendo mais água.

5 . CONCLUSÃO

Os testes de absorção de água foram satisfatórios conforme a NBR 10836, tanto entre as misturas quanto os ambientes. Neste caso os tratamentos com cinzas apresentaram maior absorção de água. Com relação a resistência à compressão, os tratamentos não alcançaram a resistência mínima de 2 MPa, de acordo com a NBR 10836. Houve relação com a granulometria da cinza utilizada, a qual foi apenas peneirada com uma peneira de 4,8 mm, resultando em partículas muito grandes. Isso demonstra a necessidade de melhorar o pré-tratamento, como a moagem do material, para aumentar a sua finura e, a sua reatividade.

Considera-se que estudos feitos nessa área apontam que a variação granulométrica da cinza do bagaço da cana sem classificação pode alterar a resistência mecânica do material ensaiado, apresentando a necessidade de moagem para elevar a reatividade pelo aumento da superfície específica, o que acarreta maior homogeneização do material. Isso pode justificar a baixa resistência mecânica dos tratamentos, pois, neste caso, foi utilizada uma peneira n° 4 (4,8 mm), o que não foi capaz de reter partículas maiores, ocorrendo a variação na uniformização das cinzas.

6 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836**: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio - Especificação. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações, fundamentos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988.

BAUER, L.A. F. **Materiais de construção**. 5 ed. revisada, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Safra 2008/2009. Brasília, CONAB, 2009.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-Açúcar e da Casca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto**. Rio de Janeiro-RJ. 2006.

CORDEIRO, Luciana de Nazaré Pinheiro. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica**. 2009.

FIESP/CIESP, 2001, **Ampliação da oferta de energia através da biomassa (bagaço da cana-de-açúcar)**, São Paulo: FIESP/CIESP, 90 p.

FIQUEROLA, V. **Alvenaria de solo-cimento**. Revista Técnica, São Paulo, n. 85, 2004.

FLORIM, L. C. **Contribuição para a construção sustentável: características de um projeto habitacional e coeficiente**. Universidade Federal Fluminense, 2004.

GIBBONS, Pat. **Pozolanas para argamassa de cal**. Texto traduzido por: Anonio de Borja Araujo. 2003.

MIELI, H. P. **Avaliação do tijolo modular de solo-cimento**. Engenharia de Materiais, p. 48, Rio de Janeiro, 2009.

Monreal, D. A. C., Zanzini, J. C., dos Santos Lino, J., Luz, T., & Cruz, F. O. **ESTRATÉGIAS Ambientais no setor sucroenergético: as ações sustentáveis como medidas para melhoria do desempenho—estudo de caso**, 2010.

MOTTA, J. C. S. S. et. Al. **Tijolos de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26. 2014.

NUNES, I. H. S. et al. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. Revista Tecnológica, v. 17, p. 39-48, 2008.

NEVES, Célia. **O USO DO SOLO-CIMENTO EM EDIFICAÇÕES. A EXPERIÊNCIA DO CEPED.** V SIACOT-Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra, 2005.

SOUSA, S.M.T.; BARBOSA, N. P. **Estabilização granulométrica de solos para a confecção de tijolos prensados de terra crua.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador.

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