

TIJOLOS SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE CINZAS RESIDUAIS DO BAGAÇO DE CANA: Análise quanto a compressão e absorção de água.

SOIL CEMENT BRICKS WITH ADDITION OF RESIDUAL ASH FROM CANE BAGASSE: Analysis of water compression and absorption.

Hugo de Souza Abritta

Pedro Henrique Pinto Vieira

Vitor Menezes Ravália

Orientador: Hugo Medeiros de Oliveira

Resumo

Uma das principais *commodity* do país, a cana-de-açúcar, além do grande potencial econômico se destaca também pela sua exploração ecologicamente sustentável. Matéria prima para o açúcar e álcool, através da extração de seu caldo, e ainda fonte de energia elétrica pelo sistema de cogeração proposto nas usinas termelétricas de biomassa a base de queima de bagaço. Após o processo de queima têm-se como resultado as cinzas residuais do bagaço de cana (CBC), material que se destoa ao ciclo sustentável por ser objeto de descarte. Como uma proposta de destinar corretamente esse resíduo e finalizar o ciclo sustentável da cana-de-açúcar é que se baseia o estudo que segue. Partindo da premissa que as cinzas se caracterizam como material com alta presença de sílica, material de grande reatividade pozolânica, predem-se comprovar a eficácia da substituição parcial de CBC ao cimento em traços para a fabricação de tijolos ecológicos e como ampliação dos estudos também a substituição parcial do solo pelo resíduo, desprezando sua reatividade. A luz dos estudos de Moura e Sousa (2014) será utilizado como forma de validação dos resultados a análise comparativa entre tijolos solo-cimento comuns e acrescidos do CBC através das especificações dispostas na NBR 8492 (ABNT, 2012) Tijolo solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência a compressão e da absorção de água.

Palavras chaves: Cinzas Residuais do bagaço da cana (CBC), Tijolo ecológico, Cana de açúcar.

ABSTRACT

One of the major commodities of our country, the sugar cane has one of the greatest economical potential and highlights itself for the ecological sustainability exploration. Raw material of sugar and alcohol, through extraction of your broth, and you can generate electric energy in thermoelectric plants with the sugar cane bagasse, after the burn of the bagasse the result is ashes (CBC) material that is no longer used in the sustainable cycle. This study is a proposal to correctly allocate this residue and finish the sustainable cycle. Starting with the ashes a material featured with a high silicon presence and great pozzolanic reactivity. To prove the efficiency of the CBC in a partial replacement to the cement for ecological brick and with applications in this study. The light of the studies of Moura e Sousa (2014) it will be used as a validation for the results and comparable analysis between brick and cement-soil and increased by the specifications provided in NBR 8492 (ABNT, 2012) Brick cement-soil - Dimensional analysis, determination of compressive strength and water absorption.

Key words: Residual ash from sugarcane bagasse, Ecologic brick, Sugar cane.

Rede de ensino Doctum – Unidade Cataguases – hugoabritta007@gmail.com – graduando em eng. Civil.

Rede de ensino Doctum – Unidade Cataguases – pedrohenriquepintovieira@gmail.com – graduando em eng. Civil.

Rede de ensino Doctum – Unidade Cataguases – menezesravalia1998@gmail.com – graduando em eng. Civil.

Rede de ensino Doctum – Unidade Cataguases – prof.hugo.oliveira@doctum.edu.br – mestre em eng. Civil.

1- Introdução

O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil foi iniciado no século XVIII e atualmente segundo boletim da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), na safra 2019/2020 foram 642,7 milhões de toneladas colhidas, tais números reforçam o país como um dos maiores produtores do mundo e reafirma a cana-de-açúcar como um importante *commodity* brasileira (CONAB, 2020). (LIMA, 2009). No entanto, a indústria segue buscando soluções sustentáveis para a reutilização dos resíduos gerados no processo beneficiamento da cana e de produção de açúcar e álcool. Um desses resíduos são as chamadas cinzas residuais do bagaço de cana (CBC), um material obtido após a queima do bagaço no processo de geração de energia em usinas termelétricas. Com o objetivo de fechar o ciclo sustentável da cana-de-açúcar surgiram estudos deste material e sua reutilização basicamente na agricultura e na construção civil.

Quanto à utilização na agricultura, a luz do estudo de Lacotiz e Muniz (2015), é possível destacar uma grande concentração de potássio, um químico capaz de atenuar e corrigir a acidez do solo melhorando sua fertilidade natural e sem apresentar níveis consideráveis de toxicidades, viabilizando sua utilização como adubo para correção de fertilidade dos solos.

Na construção civil, tomando como base o estudo de Cordeiro et al. (2009), destaca-se a presença de sílica, químico com grande atividade pozolânica que possibilita a utilização do resíduo como aglomerante em substituição parcial do cimento Portland, ou ainda como em substituição a agregados miúdos. Tais características dão ao CBC uma vasta utilização no setor da construção civil, como na fabricação de argamassas ou tijolos em solo-cimento, por exemplo, objeto deste estudo.

1.1- Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é fazer um estudo comparativo entre tijolos ecológicos convencionais e tijolos ecológicos acrescidos de CBC no que se refere às propriedades de resistência mecânica e absorção de água.

1.2- Os objetivos específicos

- a. Realizar uma abordagem técnica sobre a fabricação e execução de tijolos ecológicos;
- b. Realizar uma análise geral quanto à viabilidade técnica e quanto a qualidade dos tijolos acrescidos de CBC através da análise de resistência a compressão e absorção de água;
- c. Identificar as vantagens e desvantagens da utilização de tijolos ecológicos com CBC em comparação a tijolos ecológicos convencionais.

1.3- Hipóteses

- a. Tomando como base a publicação de Moura e Sousa (2014), a utilização mais eficiente do CBC é em substituição de até 20% do cimento, com resultado a ser comprovado no presente estudo, caracterizando o tijolo como viável tecnicamente e mais vantajoso economicamente visto que parte da matéria prima é originária de descarte das refinarias e usinas.
- b. Quanto a substituição do CBC ao agregado, pretende-se a obtenção de um tijolo ecológico viável técnica e economicamente, oferecendo uma alternativa vantajosa em situações onde não se tenha equipamentos necessários para comprovação das propriedades químicas e pozolânicas do mesmo.
- c. Quanto à sustentabilidade o tijolo acrescido de cinzas se mostra mais eficaz, pois são utilizados materiais antes destinados a descarte.

1.4- Justificativa

Atualmente o tijolo de solo-cimento é apresentado como uma das possibilidades para a construção civil em alvenaria sustentável, pois seu processo de produção não leva queima e desse modo não liberando o gás carbônico (CO₂). Sua mistura é obtida ao acrescentar cimento e água ao solo até chegue a seu ponto ideal de umidade atendendo às especificações dispostas a NBR 10833 (ABNT, 2012).

O tijolo ecológico apresenta resistência semelhante a blocos cerâmicos, além de seu formato característico disposto de dutos que conferem ao mesmo vantagens técnicas como agilidade de execução da obra, devido ao sistema de encaixe dos

blocos, economia na execução de vigas e pilares, pois não necessitam de formas, praticidade para implementação das instalações elétricas e hidráulicas que são embutidos nos dutos dos tijolos, aliados a não necessidade de mão de obra especializada (MOURA e SOUSA, 2014).

A cana-de-açúcar é uma fonte energética bem explorada, pois além dos produtos extraídos do seu caldo ainda oferece proveito no seu bagaço utilizado em usinas termelétricas para geração de uma energia elétrica de forma limpa e sustentável, obtida pelo processo da queima do mesmo que é considerado um processo menos poluente e agressivo a atmosfera perante a combustão de combustíveis fósseis, como resultado final a queima do bagaço de cana obtém o CBC (Portal Saneamento Básico, 2015). Com objetivo de atingir um ciclo completo de utilização e reutilização sustentável da cana-de-açúcar é que se justifica a execução desde trabalho, a fim de minorar os impactos ambientais e comprovar a viabilidade técnica e até econômica de sua utilização.

2- Referencial teórico

Entendendo que a construção civil é um grande gerador de impacto ao meio ambiente e partindo de uma tendência de mercado para a obtenção de materiais e tecnologias que possam mitigar esses danos, o estudo de Moura e Sousa (2014) propõe uma análise sobre a viabilidade da utilização do resíduo de bagaço de cana-de-açúcar acrescido ao tijolo de solo-cimento. Tal viabilidade foi admitida através da leitura de resultados obtidos a partir das análises das propriedades físicas e químicas de tijolos confeccionados com diferentes porcentagens de CBC em substituição ao cimento.

A metodologia exposta inicia relatando a coleta do solo realizado a jazida da cidade de Rialma, Goiás, a 20 cm de profundidade para que não houvesse a contaminação por matéria orgânica. Após o resíduo de cana-de-açúcar coletado foi caracterizado quanto aos teores de umidade, extrativos, lignina, holocelulose e alfa celulose, a partir do documento 236, procedimentos feitos para a análise Lignocelulósica de acordo com a EMBRAPA. Além de determinar sua massa específica aparentemente seca e granulometria via peneiramento.

Após a seleção dos materiais foram feitas as misturas de solo, cimento e bagaço, variando os teores de cimento e CBC desde a 0%, a 10%, a 20%, e 50% de cinzas. A relação de água e cimento utilizada em todos os traços foi de 16% em massa do traço. O ensaio de compactação foi realizado conforme a NBR 12023 (ABNT, 2012) – Solo-cimento - Ensaio de compactação, e a moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos de solo-cimento-bagaço foram normatizadas a luz da NBR 12024 (ABNT, 2012) Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento. Para o ensaio de resistência à compressão foram moldados corpos-de-prova cilíndricos com 10,0 cm de diâmetro e 12,0 cm de altura, conforme disposto a NBR 8491 (ABNT, 2012), e aos 28 dias realizado o teste de resistência à compressão e também absorção de água conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012).

Posteriormente a metodologia foi exposto pelos autores, Moura e Sousa (2014), a discussão e análise dos resultados, contextualizando historicamente a utilização de materiais ditos "não-convencionais" e o início da utilização do tijolo solo-cimento no Brasil no ano de 1978.

O estudo proposto por Moura e Sousa (2014) concluí, a luz do estudo de Paula *et al.* (2009), que a resistência à compressão simples em argamassas acrescidas de cinzas possui resultados positivos em substituições em até 20% da cinza residual ao cimento portland.

Conforme exposto pelo estudo anterior e para melhor embasamento à pesquisa proposta no artigo que segue, foram analisadas as discussões mencionadas pelos autores Moura e Sousa (2014) referente a publicação de Paula *et al.* (2009), a Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental do artigo "Potencial de Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland". A publicação visa uma avaliação do potencial do CBC em substituição ao cimento Portland em argamassas, em análise quanto a resistência à compressão as argamassas com substituição de até 20% do CBC ao cimento são consideradas mais viáveis. Apesar de o estudo ser voltado a testes de resistência em argamassas o potencial do CBC apresentado, através do teor de SiO₂ de 84%, indica o fator de utilização ótima do CBC em substituição ao

aglomerante validando suas ações pozolânicas e ressaltando a capacidade que o elevado teor de sílica tem de reagir na presença de água, semelhante ao cimento.

O estudo de Lima *et al.* (2009) parte da análise da destinação correta ao grande volume de cinzas residuais de bagaço gerados no país com a maior produção mundial da cana-de-açúcar. Conforme contextualizado pelo estudo, além de tradição no cultivo de cana, o Brasil teve um crescimento exponencial do produto no século XX quando o país descobre no álcool uma opção energética viável e através do programa “Proálcool” incentiva a substituição em larga escala dos derivados de petróleo por etanol. Após esse período é quando a cana-de-açúcar se firma como uma *commodity* brasileira e o conceito de cogeração de energia elétrica, através do bagaço proveniente das usinas de álcool e açúcar, se expandem e o setor passa então a procurar recursos e alternativas para o resíduo desse processo, as cinzas residuais do bagaço de cana.

Durante a pesquisa proposta por Lima *et al.* (2009) foram coletadas amostras de cinzas em quatro usinas do Estado de São Paulo e a partir dessas foram realizadas análises quanto a composição química, granulométrica, massa unitária, massa específica e difratometria de raios X. O método utilizado para a análise química foi de semi quantitativa, por auxílio de espectrometria de fluorescência de raios X através do Espectrômetro Philip PW 200. A metodologia utilizada partiu das misturas dos materiais em betoneira industrial e moldagem de corpos cilíndricos com diâmetro de 5,0 cm e altura de 10,0 cm. Para a mistura foram utilizados cimento Portland de alta resistência CPV ARI RS, areia quartzosa, amostras de CBC e água, com traço determinado de 1:30 em massa.

A importância da pesquisa de Lima *et al.* (2009), ao presente estudo, se dá pela confirmação do teor de sílica (SiO_2) em valores acima de 75%, validando a atividade pozolânica do CBC e indicando como viável a substituição parcial de CBC ao cimento.

A partir dos resultados obtidos pelo teste de resistência a compressão de argamassas com substituição parcial de material inerte (areia), o estudo de Lima *et al.* (2009) concluiu que amostras com 20% e 30% de CBC apresentaram resistência a compressão de 28% acima da amostra de referência, sem acréscimo de CBC.

Ainda na análise química do CBC, de forma a validar sua tendência a atividade pozolânica, foi acrescentado como referencial a esse trabalho a publicação de Cordeiro *et al.* (2009) “Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios”. O estudo parte da necessidade de redução da utilização de cimento portland na construção civil, minimizando os efeitos causados pela emissão de CO₂ em sua produção. Tendo como base estudos que indicam a presença de ao menos 60% de sílica em CBC, Cordeiro *et al.* (2009), propõe a utilização de tal material, abundante no setor sucroalcooleiro e atualmente descartado, em substituição parcial a argamassas ou mistura solo-cimento.

A metodologia relatada ao estudo parte da coleta de resíduos proveniente de usina de beneficiamento de cana, localizada em São João da Barra, no Rio de Janeiro. O resíduo coletado foi incinerado e secado artificialmente, de forma a garantir a equidade entre as amostras. Para a confecção de argamassas utilizadas na verificação da atividade pozolânica, foram utilizados cimento portland sem adição de areia quartzosa. Após a preparação das amostras a atividade pozolânica foi determinada a partir da regulamentação da NBR 5752 (ABNT, 2014) Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Para os testes prescritos foram utilizadas misturas com 35% de volume absoluto de cimento substituído por CBC e moldadas em corpos cilíndricos metálicos, após desmoldados os corpos foram armazenados em temperatura ambiente por 28 dias.

Além da confecção de argamassa para a análise física do CBC quanto a atividade pozolânica, o autor propõe a análise química das cinzas, em termos de óxidos e a reação química cal-pozolana, proposta pelo método “Chapelle”.

Após os testes Cordeiro *et al.* (2009) iniciou a discussão dos resultados e conforme exposto, a partir da NBR 5752 (ABNT, 2014), o autor obteve através da comparação da atividade pozolânica do cimento portland ao CBC o índice de atividade pozolânica em porcentagem (5). O índice de referência normativo do cimento portland, considerado em 100%, e os índices obtidos com CBC em queima acima de 400^o foram de no mínimo 63%. Conforme indicado pela NBR 12653 (ABNT, 2014), Materiais pozolânicos - Requisitos, o CBC não apresenta índice

mínimo de 75% para que possa ser classificado como pozolana, porém confirma tendência a pozolana do material.

Conforme os dados do estudo o CBC tem teor de SiO_2 em 60,96% em massa, que confere a cinza sua atividade pozolânica. Quanto a análise pozolânica pelo método de “Chapelle”, o CBC apresenta valor de fixação em 421 mg de cal por grama de cinza, acima do valor mínimo proposto pelo método para materiais pozolânicos de 330mg. Portanto Cordeiro *et al* (2009), conclui que o CBC se apresenta como uma matéria prima em potencial para a produção de pozolana, especificamente para temperaturas de queima controlada em 600°.

A partir da necessidade de embasamento ao estudo que segue e propondo uma pesquisa direta ao objetivo de estudo, que é a viabilidade de utilização do CBC em substituição parcial ao cimento portland em tijolos de solo-cimento, foi incorporado ao referencial o trabalho realizado por Amaral (2014) – “Avaliação da incorporação de resíduos de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo de solo-cimento”, trabalho apresentado em tese de dissertação de mestrado ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade estadual do norte Fluminense.

Conforme Amaral (2014) a crescente necessidade de preservação ambiental levou a uma tendência de novos conceitos para o reaproveitamento de resíduos em auxílio a preservação de matérias-primas provenientes de recursos naturais. Sendo assim o autor apresenta o setor de cerâmica como um grande agente em potencial para esse processo de aproveitamento de materiais descartados, além da viabilidade econômica já esperada podem apresentar também vantagens técnicas ao produto final.

Em justificativa ao material de estudo o autor ressalta o Brasil como o maior produtor de açúcar e álcool do mundo, que a partir de seu processo de produção tem como geração em excesso do bagaço da cana, que é reaproveitado por sua queima para a geração de energia elétrica. Porém apesar desse conceito de cogeração o processo produz em abundância as cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar, provenientes da queima do mesmo nas usinas termelétricas e que atualmente são descartadas ao meio ambiente. De forma a minimizar tais impactos Amaral (2014) propõe uma análise da viabilidade técnica de se incorporar o CBC

numa mistura de solo-cimento, visando seu emprego como material cimentício para a confecção de tijolos solo-cimento como forma de oferecer um destino final ao resíduo. O autor justifica a utilização do CBC devido à grande presença de sílica, acima de 60% de teor em massa de cinza, o que indica o material como possível pozolana.

Amaral (2014) inicia a descrição de seus métodos pela coleta de solo na empresa Arte Cerâmica Sardinha, na cidade de Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, em que após secagem o solo foi para o processo de peneiramento. Para as misturas foram utilizados ainda cimento tipo CP III - 40 RS, água e CBC, coletado como rejeito da usina de Sapucaí, localizada em Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro. O resíduo foi seco artificialmente em estufa de 105º por 60 minutos, moído e submetido ao peneiramento para adequação a utilização em granulometria semelhante ao cimento Portland. Após, através de técnica de espectroscopia, foi realizado a caracterização química das cinzas em termos de óxidos e iniciado o processo e preparação dos corpos de prova. Os corpos de prova foram traçados com 10, 20 e 30% de quantidade de CBC em substituição ao cimento e moldados em formas cilíndricas através de prensagem por prensa hidráulica com pressão ajustada de duas toneladas.

Para a validação da pesquisa foi realizado o teste de resistência à compressão simples, de acordo com a NBR 12025 (ABNT, 2012) Solo-cimento - Ensaio à compressão simples de corpos de prova cilíndricos - Métodos de Ensaio, após 28 dias de cura. Foram ensaiados 5 corpos de prova de cada traço estipulado, em um total de 20 peças. Para a avaliação dos materiais foi realizado também teste de absorção de água descrito na NBR 10836 (ABNT, 2013) Bloco de Solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação de resistência à compressão e absorção de água - Método de ensaio.

Após descrição dos métodos Amaral (2014) inicia a discussão dos resultados e expõe que todos os corpos testados apresentam resistência à compressão média maior do que a mínima de 1,7Mpa, estabelecida pela NBR 10834 (ABNT, 2013) Bloco de cimento - Sem função estrutural - Requisitos, porém a medida que ocorre maior adição de CBC o autor ressalta que acontece a diminuição da resistência mecânica do corpo de prova. Além do atendimento também ao limite de até 22% de

absorção de água descrito pela NBR 10834 (ABNT, 2013), que foi atingido por todos os corpos de prova testados.

Ao fim Amaral (2014) concluiu que a incorporação de CBC ao solo-cimento resultou em uma menor resistência à compressão gradativa e um menor teor de absorção de água, além de ressaltar que todos os corpos analisados atendem as faixas estabelecidas pela NBR 10834 (ABNT, 2013). Então, conforme o mesmo, o resíduo de CBC pode ser utilizado como matéria alternativa a substituição parcial do cimento Portland na fabricação de tijolos solo-cimento conforme a NBR 10834 (ABNT,2013) e com valores que indicam a utilização para blocos sem função estrutural.

Para a fabricação dos corpos de prova, que serão confeccionados de tijolos solo-cimento, foi utilizado como norma regulamentadora a NBR 10833 (ABNT, 2012) Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento, ao qual orienta que sejam preparados 3 traços de proporções variadas de modo a moldar 20 blocos em prensa por cada traço, após a cura serão ensaiados conforme da NBR 8492 (ABNT, 2012) ou a NBR 10836 (ABNT, 2012) a fim de determinar o traço mais econômico que atendam as especificações contidas na NBR 8491 (ABNT, 2012) ou NBR 10834 (ABNT, 2012). Determinando o melhor traço, executar misturas homogêneas de maneira manual ou mecânica e adicionar água gradativamente até a umidade ideal de trabalho, em seguida ocorrerá a moldagem por prensa manual ou mecânica, posteriormente iniciado processo de cura durante 7 dias manter os blocos úmidos e após 14 dias estarão aptos a utilização.

Quanto aos requisitos e especificações para o tijolo solo-cimento serão determinadas através da NBR 8491 (ABNT, 2012) Tijolo solo-cimento – Requisitos; e a NBR 10834 (ABNT, 2012) Bloco vazado solo-cimento sem função estrutural – Requisitos.

Quanto a resistência a compressão será determinada pela NBR 8491 (ABNT, 2012) Tijolo solo-cimento – Requisitos, a amostragem não poderá apresentar resistência média menor a 2 MPa (20 kgf/cm²) ou resistência individual por corpo de prova inferior a 1,7 MPa (12 kgf/cm²).

Quanto a absorção de água será determinada pela NBR 8491 (ABNT, 2012) Tijolo solo-cimento – Requisitos, a amostragem não poderá apresentar média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

A NBR 8492 (ABNT, 2012) Tijolos solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio; e a NBR 10836 (ABNT, 2013) Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e absorção de água - Método de ensaio; serão utilizadas a fim de regulamentar o teste de resistência à compressão simples e o teste de absorção de água aos corpos de prova fabricados.

Para o atendimento a granulometria necessária do CBC para a confecção dos tijolos solo-cimento-bagaço serão utilizadas as determinações normativas do cimento Portland contidas a NBR 11579 (ABNT, 2012) Cimento Portland - Determinação da finura por meio de peneira 200 Mesh.

Quanto a granulometria dos demais materiais, serão obtidas por peneiras a regulamentar pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010) Peneira de ensaio - Requisitos técnico e verificação.

Quanto ao teste de resistência à compressão do tijolo solo-cimento-bagaço será utilizado prensa hidráulica que atende aos requisitos estipulados pela NBR ISO 7500-1 (ABNT, 2016) Materiais metálicos - Calibração e verificação de máquinas de ensaio uniaxial - Parte 01 Máquinas de ensaio de tração e compressão - Calibração e verificação de sistema de medição de força.

3- Metodologia da pesquisa

O estudo que segue se classifica como uma pesquisa descritiva e experimental, propondo a descrição das características do objetivo proposto e a manipulação de variáveis a fim de oferecer análises para verificação dos efeitos que comprovem as hipóteses levantadas.

Para a fabricação dos tijolos de solo-cimento acrescidos de CBC foi utilizado à metodologia proposta pela NBR 10833 (ABNT 2012) - Fabricação de tijolo e bloco

de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Adequando o procedimento de confecção dos tijolos, para a adição do CBC, com o objetivo de obter o resultado mais econômico e eficaz possível através das análises de resistência à compressão e da absorção de água.

O traço de fabricação do tijolo ecológico se dá a partir de solo, cimento, CBC e água misturados de forma mecânica a partir dos insumos destorroados e peneirados, até obter a coloração uniforme. A adição de água é gradativa até que a mistura esteja na umidade ideal. Cada traço foi produzido na proporção de 1:8 (cimento: solo), este rico em cimento, e moldou no mínimo 10 tijolos, após a moldagem e durante os primeiros 7 dias os elementos mantiveram-se úmidos para garantir a cura necessária e posteriormente a 14 dias de fabricação os tijolos estavam aptos para iniciar os testes de resistência à compressão e absorção de água. Atendendo a proposta do estudo foram executados traços com as porcentagens de CBC em 0%, 10%, 15% e 20%, e um traço com 20% de CBC substituindo o agregado. O processo de execução segue ilustrado nas imagens abaixo.



Figura 01: Confecção tijolo solo-cimento
Fonte: Arquivos dos autores



Figura 02: Confeção tijolo solo-cimento
Fonte: Arquivos dos autores

3.1- Materiais

- Cimento Portland CP II - E - 32 comercializados em saco de papel kraft de 50 kg;
- Cinza residual de bagaço de cana proveniente da extração de cachaça, em substituição ao aglomerante, passado por processo de secagem, incineração e peneirado em peneira de 0,297 mm (50 Mesh);
- Cinza residual de bagaço de cana proveniente da extração de cachaça, em substituição ao agregado, passado por processo de secagem e peneirado em peneira de 4,76 mm (4 Mesh);
- Mistura de solo sem matéria orgânica peneirado com peneira com abertura de 4,76 mm (4 Mesh).

Abaixo serão descritas as metodologias utilizadas para a confecção desse estudo divididas em: preparação de materiais, elaboração e execução dos traços, preparação dos corpos de provas, teste de resistência à compressão e teste de absorção de água.

3.2- Preparação dos materiais

Como material aglomerante foi utilizado o cimento Portland (CP II - E- 32), fabricado de acordo com as recomendações a NBR 11578 (ABNT, 1991) - Cimento Portland composto, comercializados em sacos de papel kraft de 50kG cada. Todas as amostragens foram retiradas após a abertura do recipiente em mesmas

condições visando eliminar problemas de possíveis variações que poderiam acarretar em mudanças físicas e químicas da argamassa.

Para este trabalho foram coletadas amostras de bagaço de cana proveniente da extração para fabricação da cachaça, material colocado em processo de secagem ao ar livre por 15 dias e depois de incinerado simulando o processo realizado em caldeira, sem adicionar qualquer produto químico que pudesse agir como combustível ao processo. Após o processo de queima temos então o CBC que posteriormente passado por uma peneira com abertura de 0,297 mm (50 Mesh), granulometria máxima atingida, gerando então um produto final com aspecto e granulometria semelhante ao aglomerante conforme a NBR 11579 (ABNT, 2012 Versão Corrigida:2013) Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (n° 200). Para a substituição do agregado o CBC passou por uma peneira com abertura de 4,76 mm (4 Mesh) devendo atender às características propostas a NBR NM ISO 3310-1(ABNT 2010) - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação.

Utilizamos como agregado da mistura, o solo, sem matéria orgânica e proveniente do mesmo ponto de coleta e de mesmo lote de retirada para minimizar possíveis variações que poderiam acarretar em mudanças físicas e químicas da mistura de solo-cimento e CBC. O solo foi peneirado com peneira com abertura de 4,76 mm (4 Mesh).

3.3- Elaboração e execução dos traços

Tomando como base as conclusões do estudo de Moura e Sousa (2014) os testes partirão de uma condição favorável, com substituição de até 20% do cimento.

Com intenção de ampliar o estudo, tendo como auxílio a análise feita por Lima *et al.* (2009), será utilizado também um traço ao qual o CBC substituirá uma porcentagem de até 20% do agregado, qual foi certificada pelo o autor como uma substituição mais econômica e tecnicamente indicada para a utilização. Sendo assim foram determinadas as porcentagens de material a serem substituído ao traço convencional conforme descritas abaixo nas tabelas 01 e 02.

Tabela 01: Quantidade de materiais

	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
Cimento	100%	90%	85%	80%
CBC	0%	10%	15%	20%

Fonte: Elaborado pelo os autores

Tabela 02: Quantidade de materiais

Traço de estudo	
Solo	80%
CBC	20%

Fonte: Elaborado pelo os autores

3.4- Preparação dos corpos de prova

A metodologia de teste aplicada a este trabalho foi baseada na NBR 8492 (ABNT 2012), conforme descrito na norma os corpos de prova são compostos por 2 metades de tijolos maciços vazados invertidas e sobrepostas, como ilustrado à figura 03.

**Figura 03:** Composição corpo de prova

Fonte: Arquivos dos autores

3.5- Teste de resistência à compressão

As amostras representativas em um total de 10 tijolos por traço, estabelecidas pela NBR 8492 (ABNT, 2012), em que 7 amostras foram submetidas ao teste de resistência à compressão. Com auxílio da máquina de ensaio à compressão, que atende a NBR ISO 7500-1 (ABNT, 2016) Materiais metálicos - Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial - Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão, foi realizada a aplicação da carga sobre o corpo de prova,

após imersão em água por 6 horas, até o registro de sua ruptura e através dos dados obtidos se discorrerá a discussão dos mesmos e posteriormente a conclusão do ensaio.

3.6- Teste de absorção de água

Para a elaboração do teste de absorção de água, as amostras estabelecidas num total de 10 tijolos por traço, tiveram 3 tijolos submetidos ao teste de acordo com NBR 8492 (ABNT, 2012). Os corpos de provas foram secados em estufa entre 105° a 110° C por 6 horas até obter a constância da massa, obtendo a massa m_1 , após os corpos de provas chegarem à temperatura ambiente, seguiram por 24 horas imersos em um tanque até alcance da massa saturada m_2 do corpo de prova. A partir disto que se procederá as discussões e a conclusão dos ensaios.



Figura 04: Teste absorção de água
Fonte: Arquivos dos autores

4. Resultados e Discussões

Para a obtenção dos resultados que serão expostos abaixo foram utilizados os parâmetros dispostos na NBR 8492 (ABNT, 2012) quanto a execução dos testes de resistência a compressão e absorção de água. Quanto aos parâmetros para análise dos resultados obtidos serão utilizados os dispostos da NBR 8491 (ABNT, 2012).

4.1- Teste de absorção de água

Abaixo na tabela 03 são apresentados os resultados quanto a absorção de água, conforme parâmetro descrito a NBR 8491 (ABNT, 2012) a amostragem não poderá apresentar média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem

valores individuais superiores a 22%. Na tabela abaixo se lê em m1 massa seca e m2 massa saturada úmida.

Tabela 03: Resultados quanto a absorção de água.

Tijolo	TRAÇO BASE			10% CBC			15% CBC		
	m1	m2	%	m1	m2	%	m1	m2	%
01	2,94	3,47	18,04	2,90	3,43	18,13	2,85	3,40	19,54
02	2,83	3,40	19,86	2,86	3,44	20,30	2,89	3,43	18,80
03	2,91	3,45	18,39	2,90	3,46	19,59	2,92	3,45	18,10
Média			18,77			19,34			18,82
Tijolo	20% CBC			20% AGREGADO					
	m1	m2	%	m1	m2	%			
01	2,69	3,30	22,59	2,44	3,09	26,86			
02	2,68	3,27	22,24	2,35	3,03	29,16			
03	2,80	3,40	21,37	2,42	3,06	26,58			
Média			22,07			27,53			

Fonte: Elaborado pelo os autores

Conforme apresentado na tabela acima os traços com substituição de 20% de cimento por CBC e com substituição de 20% de solo por CBC apresentaram valores individuais e médios acima dos estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012). Para melhor ilustrar o resultado segue na figura 05 abaixo um gráfico com os valores de absorção de água por corpo de prova.

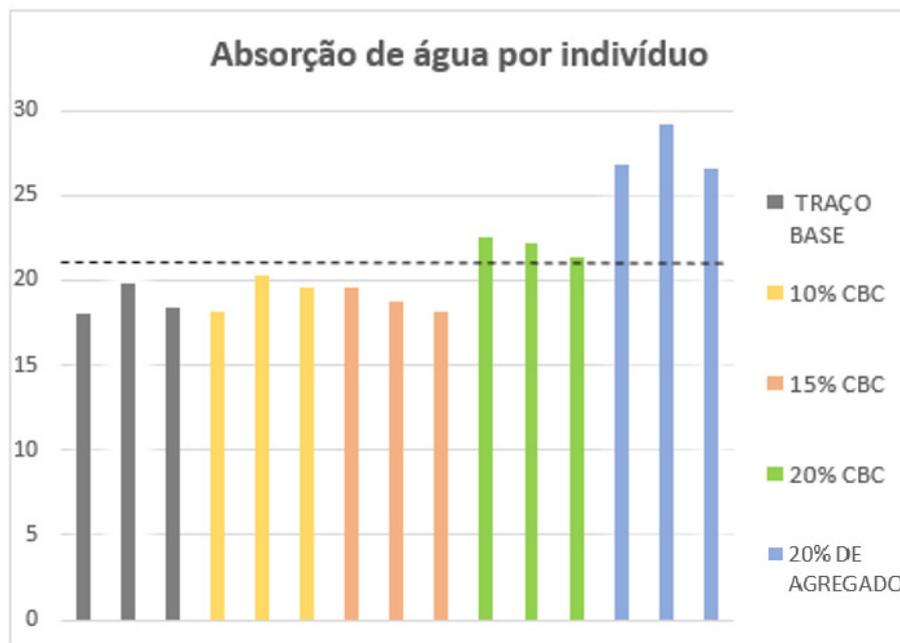


Figura 04: Teste absorção de água

Fonte: Elaborado pelo os autores

Em análise aos dados obtidos nota-se que as amostras com 20% de CBC e a amostra com 20% de CBC em substituição ao agregado não foram aprovadas quanto ao teste de absorção de água. A partir dessa análise é possível perceber que o CBC tem uma tendência maior de absorção de água se comparado ao cimento e ao solo nos demais traços.

4.2- Teste de resistência à compressão

Abaixo, na tabela 04, são apresentados os resultados quanto a resistência à compressão simples, conforme parâmetro descrito a NBR 8491 (ABNT, 2012) a amostragem não poderá apresentar resistência média menor a 2 MPa (20 kgf/cm²) ou resistência individual inferior a 1,7 MPa (12 kgf/cm²).

Tabela 04: Resultados quanto a resistência a compressão simples.

Tijolo	TRAÇO BASE		10% CBC		15% CBC		20% CBC		20% AGREADO	
	Tf	Mpa	Tf	Mpa	Tf	Mpa	Tf	Mpa	Tf	Mpa
01	3,01	1,93	3,51	2,25	4,31	2,76	2,33	1,49	1,83	1,17
02	3,72	2,38	3,71	2,37	3,66	2,34	2,72	1,74	1,25	0,80
03	3,23	2,07	4,10	2,62	2,39	1,53	1,81	1,16	1,44	0,92
04	2,73	1,75	2,69	1,72	2,39	1,53	2,41	1,54	1,72	1,10
05	2,96	1,89	3,70	2,37	4,21	2,69	2,41	1,54	1,27	0,81
06	3,77	2,41	3,85	2,46	3,61	2,31	2,60	1,66	1,82	1,16
07	3,49	2,23	3,27	2,09	4,67	2,99	2,72	1,74	1,87	1,20
Média		2,09		2,27		2,31		1,55		1,02

Fonte: Elaborado pelo os autores

Conforme apresentado na tabela acima os traços com substituição de 15% de cimento por CBC, 20% de cimento por CBC e com substituição de 20% de solo por CBC apresentaram valores individuais abaixo estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), e os traços com 20% de cimento por CBC e com substituição de 20% do solo por CBC apresentam valores médios abaixo dos estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012). Para melhor ilustrar segue na figura 05 abaixo um gráfico com os valores de resistência à compressão por corpo de prova.

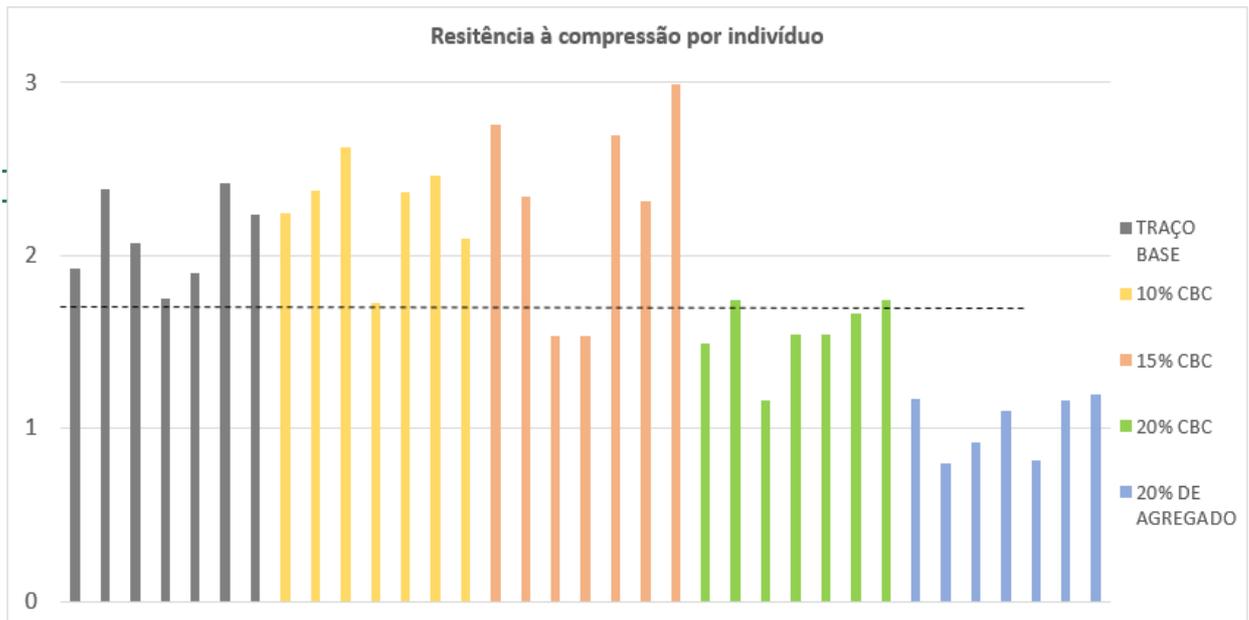


Figura 05: Teste resistência à compressão
Fonte: Elaborado pelo os autores

Em análise aos dados obtidos nota-se que amostras acima de 10% de CBC e as amostras com 20% de CBC em substituição ao agregado não foram aprovadas quanto ao teste de resistência à compressão. Quanto a análise das amostras com 15% de substituição do cimento por CBC nota-se que apenas dois corpos de provas não atingiram o valor mínimo admitido e a partir disso podemos estipular que excepcionalmente a esse traço será necessário uma reavaliação futura para que em comparação, caso se mantenha reprovados, se certifique que efetivamente a porcentagem em substituição do CBC coletado não atende, ou caso aprovado, a falha nos dois indivíduos em específico tenha se dado em algum momento da fabricação do tijolo ou da fabricação dos corpos de prova.

5- Conclusão

Conforme os resultados apresentados concluímos que o fator seguro de utilização do CBC, em acréscimo ao processo de produção de tijolo ecológico, se dá em até 10%. Partindo das considerações propostas por Moura e Sousa (2014) de substituição segura de 20% de CBC em percentual de cimento e levando em consideração que não foram realizadas análises quanto a composição química da amostra de CBC utilizada, é aceitável que possivelmente o material coletado não apresenta características, quanto a presença de sílica, ideias para sua utilização

como aglomerante em tijolos solo-cimento em níveis acima de 10% em percentual de cimento.

Ressalta-se também que as amostras com substituição em 15% de CBC atenderam as especificações limites quanto a absorção de água e em valor médio quanto a resistência a compressão, porém foram reprovadas por valores de 2 indivíduos que não atenderam a especificação mínima estipulada pela NBR 8491(ABNT, 2012). Portanto acerca desse cenário se faz necessário uma reavaliação futura para que, em comparação com os dados obtidos no presente trabalho, se tenha assim uma conclusão mais assertiva, constatando que a substituição em até 15% de CBC não é viável, ou evidenciando que possivelmente alguma falha no processo houve fabricação dos tijolos em si ou da fabricação e montagem dos corpos de prova.

Quanto a substituição do CBC em porcentagem ao solo não foi possível, pela amostra ensaiada, a conclusão de uma margem efetiva e segura para sua utilização, visto que em substituição a 20% do agregado não houve amostra aprovada. Portanto a partir dos resultados apresentados, até que se ensaie diferentes proporções de substituição ao solo, não se recomenda a utilização de CBC em substituição ao solo em traços de tijolos solo-cimento.

6- Referências

MOURA, E. M; SOUSA, V. M. Z.; Análise física e química do tijolo solo-cimento acrescido de resíduo de bagaço de cana-de-açúcar. UniEVANGÉLICA, Ceres, Brasil.

PAULA, M. O; TINÔCO, I. F. F; RODRIGUES, C. S; SILVA, E. N; SOUZA, C. F; Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, Brasil 2009.

LIMA, S. A.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; SANTOS, T. J.; Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. Revista tecnológica, ENTECA 2009. São Carlos, Brasil, 2009.

LACOTIZ, J. C. A; MUNIZ, A. S.; Uso das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como fonte de potássio: efeitos no solo e nas plantas de feijão. AGROECOL 2014,

Dourados MS, Brasil 2014. Disponível em < <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/16454/10711>> Acesso em Maio de 2020.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; Caracterização de cinza de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. QUÍMICA NOVA 2009, Campo dos Goytacazes RJ, Brasil, 2009. Disponível em < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000100016&script=sci_arttext> Acesso em Maio de 2020.

AMARAL, M. C. Avaliação da Incorporação de Resíduo de Cinzas de Bagaço de Cana- de-Açúcar em Tijolo Solo-Cimento. Universidade Estadual Do Norte Fluminense - UENF. Rio de Janeiro, 2014. 101 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 8492 – Tijolo de solo-cimento- Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10833 (ABNT, 2012) – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10836 (ABNT, 2013) – Bloco vazado de solo – cimento sem função estrutural – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e absorção de água - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 11579 (ABNT, 2012 Versão Corrigida: 2013) Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM ISO 3310-1(ABNT 2010) - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO 7500-1 (ABNT, 2016) Materiais metálicos - Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial - Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão - Calibração e verificação do sistema de medição da força, Rio de Janeiro, 2010.

FIESP, FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Arquivo da Tag: cana-de-açúcar. Junho de 2017. Disponível em <www.fiesp.com.br/tag/cana-de-acucar/> Acesso em Maio de 2020.

PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. 25 usinas termelétricas utilizam cana-de-açúcar para gerar energia limpa. Junho de 2015. Disponível em

<<https://www.saneamentobasico.com.br/25-usinas-termoeletricas-utilizam-cana-de-acucar-para-gerar-energia-limpa/>> Acesso em Maio de 2020

GARCEZ, S. B. B; Classificação e Tipos de pesquisas; Universidade de Cruz Alta-UNICRUZ, Cruz Alta, RS; 2010. 04 p.