

**Evaluación de la absorción de agua en bloques de tierra comprimida  
estabilizados con cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución  
parcial del cemento Portland.**

**Jeferson Fernando Corrêa Antonelli**

Estudiante de Maestría, UNESP, Brasil  
j.antonelli@unesp.br

**Maximiliano dos Anjos Azambuja**

Profesor Doctor, UNESP, Brasil  
m.azambuja@unesp.com

## RESUMEN

La sociedad demanda cada vez más alternativas sostenibles para la producción de materiales de construcción civil como respuesta a la creciente preocupación mundial por el medio ambiente. El esfuerzo para el desarrollo de tales alternativas es justificable por el grado de contribución del sector al problema. El estudio reportado en este trabajo se centró en las propiedades de durabilidad de los bloques de tierra comprimida, evaluando el efecto de la estabilización de las cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBC) en sustitución del cemento Portland en la resistencia a la absorción de agua. Se confeccionaron cuatro mezclas de BTC, siendo uno de referencia con un 10% de cemento en masa en relación con el solo y otras tres mezclas con contenidos de 10%, 20% y 30% de CBC en sustitución del cemento. Se realizaron pruebas de densidad seca y absorción de agua en los bloques de acuerdo con la NBR 8492 (2012), a las edades de 14, 21 y 28 días. Los resultados mostraron la eficacia de la CBC como agente cementante en la formación de una matriz de unión para las partículas del suelo. El porcentaje óptimo de sustitución del cemento Portland por CBC fue del 30%. En esta dosis, la densidad seca fue un 6% superior a la de la mezcla de referencia y la absorción de agua fue un 13% inferior en relación con la referencia.

**PALABRAS CLAVE:** Ladrillo suelo-cemento. Cenizas de bagazo de caña de azúcar. Ladrillo ecológico.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los bloques de tierra comprimida (BTC) son esencialmente adobes - uno de los primeros elementos de las estructuras hechas por el hombre - pero producidos mediante compactación mecánica, lo que les confiere innovación, mayor seguridad y durabilidad (ASTME2392M-10, 2016). Sin embargo, la sociedad todavía tiene algunas percepciones erróneas sobre las construcciones realizadas con BTCs, considerándolas como un material menos duradero (Nshimiyimana *et al*, 2021). En este sentido, son importantes los estudios científicos sobre la durabilidad de los materiales de construcción de tierra. En cuanto a la calidad del BTC es importante el control de las características del suelo, especialmente la distribución del tamaño de sus partículas, ya que cada variación en la gradación puede variar la estructura del suelo, la plasticidad, la cohesión, la permeabilidad y el impacto en su durabilidad (Kasinikota; Tripura, 2021).

La adición de arena o la estabilización con aglutinante hidráulico se recomienda para suelos con predominio de arcilla en su composición, un alto porcentaje de arcilla es un gran problema para la calidad de los BTCs, ya que favorece la aparición de grietas después del proceso de hidratación (Azevedo *et al*, 2019). Sin embargo, los ladrillos fabricados con suelo con alto porcentaje de finos mostraron una resistencia al agua satisfactoria cuando se estabilizaron con cemento, puzolana o se hizo la reestructuración de la curva granulométrica con arena (Islam *et al*, 2020). En este contexto, el cemento es un estabilizador muy utilizado en BTC, sin embargo, su producción implica importantes emisiones de CO<sub>2</sub>, según Alavéz-Ramírez *et al* (2012) cada tonelada de cemento produce aproximadamente una tonelada de CO<sub>2</sub>, lo que hace que la industria del cemento sea responsable de cerca del 5% de las emisiones globales, contribuyendo así al cambio climático.

Debido a las preocupaciones ambientales con el uso de cemento en la estabilización de suelos, Moura *et al* (2020) utilizaron la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) como reemplazo parcial del cemento para la producción de HAC. Gracias a la estabilización de la SBA fue posible conseguir una resistencia a la absorción de agua satisfactoria para un suelo con aproximadamente un 97,35% de arcilla y limo.

El indicador más difícil de la durabilidad y la estabilidad de los BTC es la absorción de agua, ya que afecta negativamente a la resistencia mecánica cuando los bloques están expuestos a condiciones de inundación y a fuertes lluvias; cuanto menos agua absorba un bloque, mejor será su rendimiento estructural y mayor su durabilidad. La reducción de la capacidad total de absorción de agua de un bloque se ha considerado una forma de mejorar su calidad (Teixeira *et al*, 2021). En general, la entrada de humedad se produce principalmente a partir de las precipitaciones impulsadas por el viento, la condensación, la infiltración y la absorción de agua del suelo. Dependiendo de la tasa de absorción, el agua puede debilitar la integridad y la resistencia mecánica de la estructura de tierra. Por lo tanto, es esencial evaluar la resistencia a la absorción de agua de los bloques de tierra comprimida (Nshimiyimana *et al*, 2021).

En el presente estudio se evalúa cómo la estabilización con diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar (aglutinante puzolánico) en sustitución del cemento afecta al rendimiento de absorción de agua de los bloques de tierra comprimida (con alto contenido de finos) en comparación con los bloques estabilizados sólo con cemento.

## 2 OBJETIVO

Evaluar la resistencia al agua de los bloques de suelo-cemento estabilizados con cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento Portland.

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 El suelo

El suelo utilizado fue recolectado en Pedreira Nova Fortaleza, ubicada en el municipio de Pederneiras, SP, coordenadas 22° 21' 34,160" S, 48° 47' 25,894" O. Se realizaron evaluaciones de compactación y caracterización, según la NBR 6457 (2016). Para la caracterización de la granulometría del suelo, se utilizó como referencia la NBR 7181 (2016). Los límites de consistencia fueron determinados por NBR6459 (2016) para el límite de líquido y NBR 7180 (2016) para el límite de plasticidad. El ensayo de compactación proctor se realizó de acuerdo con la NBR 7182 (2016). La distribución granulométrica indica un suelo con un alto contenido de grano fino, siendo el 87,8% de las fracciones de arcilla, limo y arena fina. Las propiedades de consistencia con límites líquidos y plásticos son 56% y 36% (Tabla 1) según la AASHTO, se clasifica A-7-5.

Tabla 1 - propiedades del suelo

Ensayo		Valor
Límites de consistencia (%)	Límite líquido (LL)	56
	Límite de plástico (LP)	36
	Índice de plasticidad (IP)	21
Distribución del tamaño de las partículas (%)	Arcilla (< 0,002 mm)	39
	Limo (0,002-0,06 mm)	37
	Arena fina (0,06-0,2 mm)	11,8
	Arena media (0,2-0,6 mm)	2,6
	Arena gruesa (0,6-2,0 mm)	0,6
Masa específica máxima en seco	g/cm <sup>3</sup>	1,622
Contenido óptimo de humedad	(%)	26,2
Masa específica de los sólidos	g/cm <sup>3</sup>	3,084
Índice de vacío (cuando se compacta)	(%)	0,90
Grado de saturación (en la compactación)	(%)	89,6

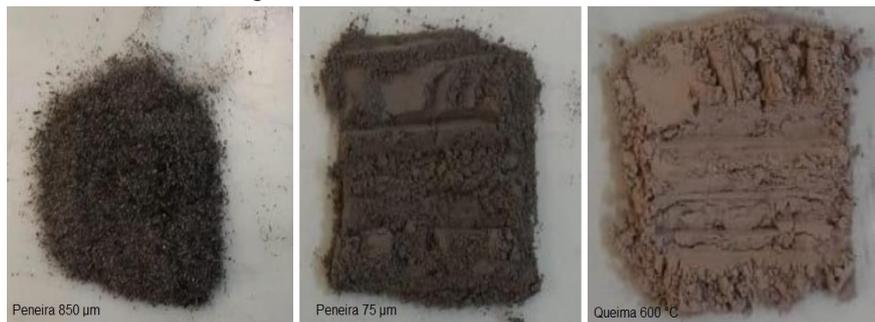
Fuente: AUTOR, 2021.

Las propiedades de granulometría y consistencia del suelo no cumplen con los requisitos de la NBR 10833 (2012), ya que establece que el suelo debe pasar el 100% por el tamiz con abertura de malla de 4,75 mm, y entre el 10% y el 50% del material debe pasar por el tamiz con abertura de malla de 0,075 mm. El suelo tenía el 100% de su masa que pasaba por el tamiz de 4,8 mm, cumpliendo la recomendación normativa. Sin embargo, en relación con el porcentaje de tierra que pasó por el tamiz de 0,075 mm, no cumplió el criterio, pasando el 85,1%. No se aplicó ninguna corrección de clasificación, ya que Laborel-Preneron *et al* (2017) demostraron que es posible fabricar BTC con esta granulometría, los autores produjeron bloques con un contenido del 99% de las partículas menores de 0,080 mm, logrando una respuesta satisfactoria de resistencia al agua. Yatawara; Athukorala (2021) también tuvieron incompatibilidad de la textura del suelo con las normas, los valores para el suelo del trabajo fueron 33,9%, de arcilla, 27,8% de limo y 38,3% de arena, sin embargo, los autores mencionan que para el suelo arcilloso se debe hacer estabilización química con cemento.

### 3.2 Cenizas de bagazo de caña de azúcar

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (SBA) fue recolectada en Usina Diamante, ubicada en el municipio de Jaú, estado de São Paulo. Para su utilización, la ceniza se secó en estufa a 105 °C durante 24 horas para eliminar la humedad, según Vasconcelos (2013), luego se tamizó utilizando un tamiz con apertura de 850 µm para uniformar y eliminar la materia orgánica. La SBA fue sometida a una molienda (figura 1) durante 24 horas en un molino de 24 bolas, 12 bolas de 45 mm de diámetro con un peso de 340 g y 12 bolas de 25 mm de diámetro con un peso de 90 g, con 33 rotaciones de molienda por minuto. La cocción se realizó a 600 °C durante 4 horas según Soares (2010). Se comprobaron las propiedades físicas (Tabla 2). Para determinar la finura por medio del tamiz de 45 µm se utilizó la norma NBR 15894-3 (2010). La masa específica se determinó según la NBR 16605 (2017) y la masa unitaria según la NBR16972 (2021). El índice de desempeño de los materiales puzolánicos con cemento Portland a los 28 días fue realizado de acuerdo con la NBR 5752 (2014).

Figura 1 - Proceso de tramitación de la SBA



Fuente: AUTOR, 2021.

Tabla 2 - Propiedades físicas de la SBA.

Propiedades físicas		Valor
Masa específica	g/cm <sup>3</sup>	2,73
Finura a través de un tamiz de 45°	% retenido en gramos	20
Masa de la unidad	g/cm <sup>3</sup>	0,84
Índice de actividad puzolánica con cemento Portland a los 28 días	(%)	113

Fuente: AUTOR, 2021

### 3.3 Cemento Portland

Se utilizó el cemento Portland - CPV-ARI Holcim que tiene una alta resistencia inicial. La mezcla de referencia se dosificó con un 10% en masa, ya que niveles más altos no son rentables.

### 3.4 Proporción de la dosis

El contenido de cemento del 10% fue elegido como la mezcla de referencia (TR) para ser reemplazado por SBA, en los contenidos del 10% (T10CBC), 20% (T20CBC) y 30% (T30CBC), Tabla 3. Según la ABCP en su estudio técnico 35, para este tipo de suelos es preferible utilizar un 13% de cemento. Sin embargo, según Moura *et al* (2021), un 10% de cemento es suficiente para cumplir con los requisitos de absorción de agua para suelos con alto contenido de finos. Se evaluaron tres bloques por edad, a los 14, 21 y 28 días. En total, una producción de 9 bloques por mezcla y 36 en total.

Tabla 3 - Detalles de las relaciones entre materiales y masas.

Tratamiento	Tierra	Cemento	CBC	Agua	Producción
	(g)	(g)	(g)	(g)	Unidad
TR	2160,0	216,0	00,0	594,0	9
T10CBC	2160,0	194,4	21,6	594,0	9
T20CBC	2160,0	172,8	43,2	594,0	9
T30CBC	2160,0	151,2	64,8	594,0	9

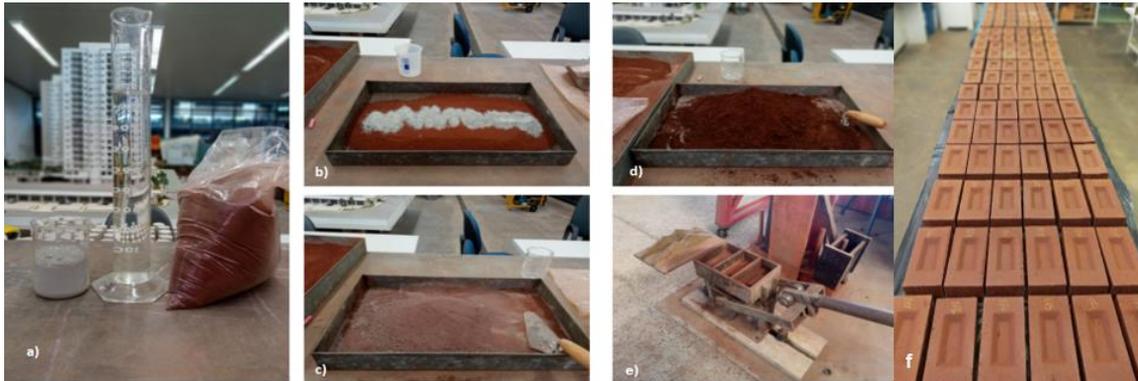
Fuente: AUTOR, 2021.

### 3.5 Producción de los bloques

Para fabricar los bloques de suelo-cemento se utilizó una prensa manual con una energía de compactación de 3,98 kg/cm<sup>2</sup> y bloques con dimensiones de 230x110x55 mm. La

tierra, antes de ser mezclada con el cemento, fue triturada y tamizada (tamiz con abertura de 4,75 mm) para eliminar los materiales extraños, y luego secada durante 24 horas en un horno a 100°C. La figura 2 muestra el proceso de fabricación de la mezcla de referencia: (a) se separaron los materiales, (b) se añadió cemento al suelo y (c) se homogeneizó, (d) se añadió agua hasta el contenido óptimo, tras la realización de la mezcla el material se arrojó a la prensa de compactación manual (e). Los bloques expulsados se pesaron y curaron durante 14, 21 y 28 días en la mesa de laboratorio sobre plástico humedecido antes de la prueba (f).

Figura 2 - Proceso de tramitación de la SBA



Fuente: AUTOR, 2021.

### 3.6 Prueba de densidad en seco

La densidad fue evaluada de acuerdo con la NBR 8492 (2012) cada bloque fue secado en una estufa a 105 °C hasta masa constante. A continuación, se dejaron enfriar los bloques a temperatura ambiente y se obtuvo la masa con una balanza electrónica. El volumen se calculó midiendo la longitud, la altura y la anchura con un calibre digital. La densidad seca se calculó mediante la ecuación (1).

$$densidade = \frac{(1) \text{ massa}}{\text{volume}}$$

### 3.7 Prueba de resistencia a la absorción de agua

El indicador más difícil de la durabilidad y la estabilidad de los CEB es la absorción de agua, que también afecta negativamente a la resistencia mecánica cuando los bloques están expuestos a condiciones de inundación y fuertes lluvias (Nshimiyimana *et al*, 2021). Según Teixeira *et al* (2021), cuanto menos agua absorba un bloque, mejor será su rendimiento estructural y su durabilidad. Se ha considerado que reducir la capacidad total de absorción de agua de un bloque es una forma de mejorar su calidad.

La absorción de agua se determinó según la norma NBR 8492:2012. Para realizar la prueba de cada mezcla se utilizaron tres bloques, que se secaron durante 24 horas en el horno a 105 °C. Tras el secado, se pesaron los bloques, y así se determinó la masa seca de cada uno. A continuación, los bloques se sumergieron en agua durante 1 minuto, 60 minutos y 24 horas

según Akinyemi *et al* (2021) y Teixeira *et al* (2021) para obtener la masa saturada (Figura 3). El resultado de la absorción de agua del CEB se expresa mediante la ecuación (2).

$$(2)$$

$$A = (m_2 - m_1) / (m_1) \times 100$$

donde:

A = absorción de agua (%);

$m_1$  = masa de CEB seca (g);

$m_2$  = masa de BTC saturado (g).

Figura 3 - Bloques sumergidos en agua



Fuente: AUTOR, 2021.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Densidad seca

En cuanto a la densidad, los resultados presentados en la Tabla (4) indican una densidad constante en cada lote producido, Cottrell *et al* (2021) lo atribuye al método preciso de determinación de la dosis del material. Según Yatawara; Athukorala (2021) la densidad del CEB está en el rango de 1,5 - 2,0 Kg/m<sup>3</sup>, por lo que los 4 tratamientos se mantuvieron en el rango aceptable de producción.

Cuadro 4: Densidad seca de los bloques.

Tratamiento	Masa seca (Kg)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Edad (días)
TR	2,43459	1,611 (0,05)	14
	2,45887	1,651 (0,03)	21
	2,44636	1,655 (0,03)	28
T10CBC	2,47673	1,628 (0,02)	14
	2,49431	1,598 (0,01)	21
	2,46856	1,619 (0,03)	28
T20CBC	2,50335	1,629 (0,03)	14
	2,57580	1,699 (0,02)	21
	1,48771	1,634 (0,02)	28
T30CBC	2,57230	1,714 (0,02)	14
	2,59929	1,732 (0,00)	21
	2,59294	1,726 (0,03)	28

Desviación estándar entre paréntesis.

Fuente: AUTOR, 2021.

#### 4.2 Prueba de resistencia a la absorción de agua

La tabla 5 presenta el efecto de la sustitución del cemento por SBA en la capacidad de absorción de agua de los bloques. A medida que la cantidad de SBA aumenta, la absorción de agua disminuye, esto ocurre debido a la reducción de los huecos entre las partículas del suelo que se llenan por la formación de gel de los productos de hidratación puzolánicos y del cemento. Este hallazgo fue el mismo para Moura *et al* (2020).

Tabla 5 - valores de absorción de agua

Tratamientos	Absorción de agua (%)				
	1 minuto	120 min.	1440 min.	Tratamiento de la resina	Edad (días)
TR	3,31 (0,26)	20,85 (0,84)	24,17 (1,12)	-	14
	2,97 (0,19)	19,68 (0,41)	23,42 (0,84)	-	21
	2,71 (0,24)	19,61 (1,36)	22,79 (0,56)	6,68DP3,0	28
T10CBC	3,61 (0,03)	22,48 (0,70)	24,13 (1,01)	-	14
	4,68 (0,56)	22,64 (0,07)	24,24 (0,22)	-	21
	4,49 (0,55)	22,86 (0,48)	23,91 (1,15)	10,57DP5,63	28
T20CBC	3,86 (1,07)	22,63 (1,47)	23,38 (1,51)	-	14
	3,08 (0,44)	18,08 (1,59)	19,88 (1,32)	-	21
	3,52 (0,04)	20,33 (1,15)	22,96 (0,55)	4,29DP0,02	28
T30CBC	3,21 (0,12)	17,07 (1,53)	19,24 (0,68)	-	14
	3,06 (0,27)	16,31 (0,87)	18,28 (0,33)	-	21
	3,16 (0,73)	16,99 (0,93)	19,88 (0,79)	5,23DP3,24	28

Desviación estándar entre paréntesis.

Fuente: AUTOR, 2021.

El porcentaje de absorción de agua es mayor en los primeros minutos, con el paso del tiempo el índice aumenta, pero a un ritmo menor, el TR absorbe el 13% con un minuto, el 85% con 60 minutos en relación al tiempo total de absorción de agua de 1440 minutos. Para T10CBC, T20CBC y T30CBC la absorción de agua en relación a su valor total, en el primer minuto fue de 18%, 16% y 16% respectivamente, y a los 60 minutos T10CBC, T20CBC, T30CBC absorbieron 94%, 92%, 88% respectivamente. Según Akinyemi *et al* (2021) esto se debe a que la absorción de agua progresa más rápidamente durante la fase inicial de 1 a 60 minutos que la fase posterior de 1440 minutos debido a la ruptura de los enlaces activos entre las partículas de arcilla y los aglutinantes. Esto provoca un cambio irreversible en la estructura de las partículas de arcilla por la aparición de más poros y, en consecuencia, la reducción de la durabilidad.

Según Sekhar y Nayak (2018) la densidad afecta significativamente a las propiedades de durabilidad de los bloques de tierra comprimida, los resultados de la densidad comparados con la absorción de agua muestran que sólo los bloques que alcanzaron una densidad superior a 1,699 Kg/m<sup>3</sup> obtuvieron un índice de absorción de agua a los 1440 minutos inferior al estipulado por la norma técnica NBR 8491 (2012) del 20%.

Los valores de absorción total de agua oscilaron entre 18,27% y 24,24%, siendo estos valores similares cuando se comparan con los resultados presentados por Teixeira *et al* (2020) para ladrillos de arcilla quemada (0-30%), bloques de hormigón (4-25%) o ladrillos de silicato de calcio (6-16%).

Además, se estudió el efecto del tratamiento arquitectónico con la adición de barniz acrílico para dar mayor protección y mejor acabado a los bloques. Se aplicaron dos capas con la ayuda de una brocha, con intervalos de 4 horas entre las capas, sobre los bloques de 28 días. Los resultados muestran una reducción de la absorción de agua del 71% para el TR, del 56% para el T10CBC, del 81% para el T20CBC y del 73% para el T30CBC.

Finalmente, se concluyó que los bloques elaborados con 10% de cemento sustituido por 30% de ceniza de bagazo de caña de azúcar pueden ser utilizados en la construcción de mampostería en cuanto a la resistencia a la absorción de agua, tal como sugiere la norma brasileña NBR 8491 (2012) que determina valores medios inferiores a 20% y valores individuales inferiores a 22%.

#### 4 CONSIDERACIONES FINALES

En esta investigación, se analizó la estabilización química con 10% en masa de cemento Portland y se evaluaron tres contenidos de cenizas de bagazo de caña de azúcar, 10%, 20% y 30% como reemplazo del cemento, en términos de resistencia a la absorción de agua.

El porcentaje óptimo de sustitución del cemento Portland por SBA fue del 30%.

La mejora de las propiedades físicas de los bloques en términos de resistencia a la absorción de agua y densidad es un aspecto positivo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar utilizada como estabilizador. Al aumentar la cantidad de ceniza, la absorción de agua disminuyó.

En general, cada lote producido tuvo una densidad constante, debido al método preciso de dosificación del material, y los 4 tratamientos se mantuvieron dentro de un rango aceptable para la producción de CEB, estimado en 1,5 - 2,0 Kg/m<sup>3</sup>. La densidad seca media entre edades para cada mezcla fue de 1,639 TR; 1,615 T10CBC; 1,654 T20CBC y 1,724 Kg/m<sup>3</sup> para T30CBC.

La resistencia a la absorción de agua se logró de forma ideal con la estabilización del 30% de SBA, con una mejora del 13% en la resistencia a la absorción de agua en relación con la mezcla de referencia.

El porcentaje de absorción de agua fue mayor en los primeros minutos y con el tiempo el índice aumentó, pero a un ritmo menor. El comportamiento de los bloques fue de un 15% de absorción en el primer minuto y de un 90% con 60 minutos en relación al tiempo total de absorción de agua de 1440.

La norma brasileña NBR 8491 (2012) determina valores medios inferiores al 20% y valores individuales inferiores al 22% para la absorción de agua por parte de los bloques de tierra comprimida tras una inmersión de 24 horas. Los tratamientos que cumplieron el requisito fueron: TR a los 14 días, 20% de SBA a los 14 días y 30% de SBA a todas las edades.

Al realizar el tratamiento arquitectónico con la adición de barniz acrílico para dar mayor protección y mejor acabado a los bloques, los resultados mostraron una reducción de la absorción de agua del 71%, 56%, 81% y 73% para TR, T10CBC, T20CBC y T30CBC respectivamente.

## GRACIAS

Los autores agradecen a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) y a la Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP - Campus de Bauru) por el apoyo recibido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Dosagem das misturas de solo-cimento - normas de dosagem e métodos de ensaios. 3 ed. São Paulo: ABCP, Boletim Técnico ET-35, 2004.

AKINYEMI, B. A.; OROGBADE, B. O.; OKORO, C. W. The Potential of Calcium Carbide Waste and Termite Mound Soil as Materials in the Production of Unfired Clay Bricks. **Journal of Cleaner Production**. v. 279, p. 123693, jan. 2021.

ALAVÉZ-RAMÍREZ, R. et al. The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks. **Construction and Building Materials**. [S.l.] v. 34, p. 296-305, Sept. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2392 / E2392M-10**, Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento — Requisitos. Rio de Janeiro-RJ, 2012.

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-RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: 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 15894-3**: Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta - Parte 3: Determinação da finura por meio da peneira 45 µm. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

AZEVEDO, A. R. G. et al. Assessing the Potential of Sludge Generated by the Pulp and Paper Industry in Assembling Locking Blocks. **Journal of Building Engineering**, v. 23, p. 334–340, mai. 2019.

COTTRELL, J. A. et al. An Investigation into the Influence of Geometry on Compressed Earth Building Blocks Using Finite Element Analysis. **Construction and Building Materials**. v. 273, p. 121997, mar. 2021.

ISLAM, M. S. et al. Effectiveness of Fly Ash and Cement for Compressed Stabilized Earth Block Construction. **Construction and Building Materials**, v. 255, p. 119392, set. 2020.

KASINIKOTA, P.; TRIPURA, D. D. Evaluation of Compressed Stabilized Earth Block Properties Using Crushed Brick Waste. **Construction and Building Materials**, v. 280, p. 122520, abr. 2021.

LABOREL-PRENERON, A. Effect of Plant Aggregates on Mechanical Properties of Earth Bricks. **Journal of Materials in Civil Engineering**. v. 29, p. 04017244, dec. 2017.

LIMA, S.A. et al. Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. **Construction and Building Materials**. [S.l.] v. 35, p. 829-837, oct. 2012.

MOURA, E. M. de et al. Caracterização e uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em tijolos de solo-cimento. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 1, p. 69–80, jan. 2021.

NSHIMIYIMANA, P.; MESSAN, A.; COURARD, L. Hydric and Durability Performances of Compressed Earth Blocks Stabilized with Industrial and Agro By-Product Binders: Calcium Carbide Residue and Rice Husk Ash. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 33, n. 6, p. 04021121, jun. 2021.

SEKHAR, D.; NAYAK, S. Utilization of Granulated Blast Furnace Slag and Cement in the Manufacture of Compressed Stabilized Earth Blocks. **Construction and Building Materials**. v. 166, p. 531–536, mar. 2018.

SOARES, M. M. N. S. **Influência das condições de queima nas características físico-químicas das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar**. 2010. Dissertação (Construção civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

TEIXEIRA, E. R. et al. Mechanical and Thermal Performance Characterization of Compressed Earth Blocks. **Energies**, v. 13, n. 11, p. 2978, 10 jun. 2020.

VASCONCELOS, M. C.A. **Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de Cana-de-açúcar utilizando métodos físicos**. 2013. Dissertação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

YATAWARA, M.; ATHUKORALA, S. Potential of Replacing Clay Soil by Rice Husk Ash (RHA) in Enhancing the Properties of Compressed Earth Blocks (CEBs). **Environment, Development and Sustainability**. v. 23, n. 3, p. 3474–3486, mar. 2021.