

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DIVERSOS

Caracterización física y mecánica de ladrillos de suelo cemento con la incorporación de diversos residuos

José Eduardo Gonçalves
Rebecca Manesco Paixão
Judson Ricardo Ribeiro da Silva
Newton Cesar Feltrim Aquotti
Paulo Sérgio da Silva
Maria de los Angeles Perez Lizama
Márcia Aparecida Andreazzi
Armando Alberto de Moraes Filho

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DIVERSOS

Caracterización física y mecánica de ladrillos de suelo cemento con la incorporación de diversos residuos

*José Eduardo Gonçalves
Rebecca Manesco Paixão
Judson Ricardo Ribeiro da Silva
Newton Cesar Feltrim Aquotti
Paulo Sérgio da Silva
Maria de los Angeles Perez Lizama
Márcia Aparecida Andreazzi
Armando Alberto de Moraes Filho*

Resumo: O aproveitamento de resíduos da indústria na fabricação de tijolos de solo-cimento é uma alternativa ambientalmente sustentável e possibilita a valorização destes resíduos, em vez de simplesmente lançá-los na natureza. Neste trabalho, analisou-se a influência da incorporação de cinza de bagaço de cana, pó de serra e PET nas características físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. Os resultados obtidos mostraram que a incorporação dos resíduos (cinza de bagaço de cana e pó de serra) ao tijolo de solo-cimento manteve as propriedades mecânicas gerais, possibilitando a produção de tijolos prensados mais eficiente na relação custo-benefício, constituindo-se, portanto, numa excelente alternativa para o aproveitamento destes materiais.

Palavras-chave: materiais de construção civil, resíduos da indústria de álcool e açúcar, resíduos da indústria de mobiliário, tecnologia limpa, desenvolvimento urbano.

Resumen: La industria de la utilización de residuos en la fabricación de ladrillos de suelo cemento es una alternativa ambientalmente sostenible y permite la recuperación de dichos residuos, en lugar de simplemente lanzarlos en la naturaleza. En este trabajo, se analizó la influencia de la incorporación de cenizas del bagazo de la caña de azúcar, aserrín y PET en las características físicas y mecánicas de los ladrillos de suelo cemento. Los resultados mostraron que la incorporación de residuos (ceniza de bagazo y aserrín) al ladrillo de suelo cemento mantiene las propiedades mecánicas globales, lo que permite la producción de ladrillos prensados mas eficientes en la relación costo-beneficio, constituyendo, por lo tanto, una excelente alternativa para la utilización de estos materiales.

Palabras clave: materiales de la construcción civil residuos de la industria de alcohol, residuos de la industria de muebles, tecnología limpia, desenvolvimiento urbano.

JEL: I38.

Introducción

El desarrollo de materiales obtenidos a partir de fuentes renovables o él reciclado de materiales se debe a la gran cantidad de posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías para la creación de materiales avanzados, a partir de productos químicos y materias primas conocidas (Paula et al 2009;. Vieira Neto, 2012). El reciclaje y aprovechamiento de residuos ofrecen un gran número de oportunidades económicas y es un requisito de cualquier sistema que pretenda ser sostenible. Observando el tratamiento de residuos municipales e industriales en Brasil, es evidente que las posibilidades de reciclaje son ignorados.

La actividad industrial y agrícola genera residuos en muchos sectores. Un ejemplo en el sector agrícola es la cáscara de arroz, que ha sido explotada como fuente de energía para la combustión, y en las micro partículas de sílice, abundante en las cenizas producidas por la quema, que hoy es un aditivo importante para los cementos Portland (Almeida et al , 2013). Otro ejemplo es el uso de los materiales contenidos en el lodo rojo (Yang & Xiao, 2008; Yang et al., 2009; Manfroi et al., 2014) para su uso como materia prima en la producción de materiales para la construcción civil, tales como corrector de suelos, como adsorbente o colorantes, en el tratamiento de suelos contaminados, efluentes líquidos y aguas residuales.

Se espera el uso de diversos tipos de materias primas para la industria (Manfroi et al., 2013) para generar nuevos productos que cumplen funciones deseables y necesarias, fabricados por procesos suaves (o leves) y estimular el desarrollo económico y social en patrones duraderos y, en su posible, sostenible (Melo et al., 2011).

Los ladrillos de suelo cemento representan una alternativa a las directrices del desarrollo sostenible (Grande, 2003), ya que requieren bajo consumo de energía en la extracción de materias primas, podrán dispensar al proceso de cocción y reducir la necesidad de transporte, ya que los ladrillos se pueden producir con la tierra de la propia construcción; otro aspecto es la capacidad de racionalizar el proceso de construcción, por el uso de ladrillos modulares que permiten el uso de técnicas empleadas en la albañilería, proporcionando la reducción de residuos y la reducción en el volumen de los desechos generados, así proporcionan rapidez en el proceso de construcción, materiales y mano de obra de ahorro; eliminar los daños en las paredes para el paso de tuberías, ya que los ladrillos tienen agujeros que se superponen a los conductos de la colocación y forma a través del cual se pasan los cables y las líneas hidráulicas; reducir el consumo de mortero de acomodación y de regularización (Souza et al., 2008).

Las diferentes fuentes de materias primas renovables y abundantes están presentes en las diferentes etapas de uso, conocimiento y de desarrollo científico y tecnológico. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue asociar ciertas materias primas en la elaboración de ladrillos de suelo cemento, y comprobar si se añaden propiedades levedad, resistencia y durabilidad a los ladrillos.

Metodología

Obtención de las materias primas:

Para la producción de ladrillos de suelo cemento se utilizó la tierra proporcionada por la Cerámica Floraí (Floraí/ PR, latitud 23°19'4.08"S, longitud 52°17'26.74"O), la ceniza del bagaço de caña (CBC), por la Usina Santa Terezinha (Maringá/ PR, latitud 23°23'49.71"S, longitud 52° 5'37.21"O), PET triturado, com partículas variando entre 0,5 y 1,5 mm, fornecido por la empresa Procpet (Maringá/PR, latitud 23°27'26.44"S, longitud 51°59'59.55"O) y el aserrín (PS), por la Marcineria “La Vita Móveis” (Maringá/ PR, latitud 23°25'25.41"S e longitud - 51°53'12.70"O). Las muestras de suelo fueron preparadas siguiendo las recomendaciones descritas en las normativas brasileras NBR 6457 (ABNT, 1986) y NBR 10832 (ABNT, 2003).

Producción de Materiales Compuestos:

Los materiales de desecho de suelo cemento se produjeron en las dimensiones de 5 cm (ancho) x 20 cm (largo) x 5 cm (altura). La Tabla 1 muestra las combinaciones entre las cantidades de los diversos materiales utilizados en la producción de los ladrillos de suelo cemento estudiados.

Con el fin de caracterizar el suelo, fue sometido a granulometría y ensayos de compresión. El análisis del tamaño de partícula se llevó a cabo, siguiendo las recomendaciones de Ferrari et al. (2014). El resultado de la distribución del tamaño de las partículas del suelo mostró una proporción de 16% de arena fina y 63% de media, permitiendo clasificar el suelo como arenoso, teniendo 78% de arena y 22% de arcilla y limo. En la prueba de compactación del suelo, la humedad óptima correspondiente a la tierra fue del 10%.

Para la producción de los ladrillos se añadió a la tierra el contenido de cemento para cada composición en estudio (Tabla 1) y 10% de agua (OMC) a cada mezcla. Los materiales se mezclaron manualmente para lograr un color constante. Los ladrillos se moldearon mediante la aplicación de la mezcla en una prensa manual, y después del moldeo, cada ladrillo se almacenó en las mismas condiciones, sin llevar a cabo ningún proceso de recuperación.

Tabla 1. Composición de las mezclas de tierra, cemento, ceniza de cáscara de arroz, aserrín y PET para la producción de ladrillos de suelo cemento.

Mezcla	Composición (% del total, en masa)				
	Suelo	Cemento	Cenizas (CBC)	Aserrín (PS)	PET
1	100	-	-	-	-
2A	90	10	-	-	-
2B	80	20	-	-	-
2C	70	30	-	-	-
3	70	-	30	-	-
4A	70	20	10	-	-
4B	70	10	20	-	-
5A	60	30	-	20	-
5B	70	20	-	10	-

6	60	-	30	10	-
7A	60	20	10	10	-
7B	60	10	10	10	-
8A	60	20	10	-	10
8B	60	10	20	-	10
9A	60	20	10	-	10
9B	60	10	20	-	10
10A	50	10	20	-	20
10B	60	10	20	-	10 ⁽¹⁾

(1) PET con propileno glicol

Caracterización química y física de ladrillos de suelo cemento reciclado

Para evaluar las propiedades y la calidad de los ensayos de caracterización de materiales producidos se llevaron a cabo para entender el análisis químico del material (fluorescencia de rayos X, Difracción de Rayos X y microscopía electrónica de barrido) y la resistencia y durabilidad de acuerdo con las normas NBR 8492/2012 para la producción de ladrillos.

Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X:

Las medidas de fluorescencia de rayos X para la determinación de silicio, hierro y otros elementos en los materiales producidos se hicieron en un espectrofotómetro TRACOR Northen 5000 equipado con una cámara de ventana de berilio de vacío (0,7 Torr).

Absorción de Agua por Inmersión

Para una prueba de absorción de agua por inmersión fue seguida la metodología propuesta por NBR 12118/2013.

Análisis de electrones microscopía de barrido:

Se recogieron muestras de los materiales de la superficie obtenidas de fracturas, desglosadas en las pruebas de 28 días de edad con compresión para enviarlo al análisis de microscopía electrónica de barrido. Estos materiales se colocaron en la superficie de una cinta de doble cara adherida al soporte de muestra de aluminio. En una segunda etapa se depositó sobre las muestras una fina capa de material conductor (oro) a través de un bombardeo iónico Balzer, modelo MED 020. Las micrografías fueron obtenidas en un microscopio SHIMADZU, modelo SS 550, equipado de microsonda con detector energía dispersiva (EDS). Se utilizó el voltaje de aceleración de 15 keV.

Difracción de Rayos X (DRX)

Para el análisis de DRX, muestras de superficie de fractura de los materiales, rotos en la prueba de resistencia a la compresión con 28 días fueron sometidos a análisis difractorio de rayos X SHIMADZU (Centro de Análisis Avanzado central de Apoyo a la Investigación de Materiales complejos de la Universidade Estadual de Maringá - CAM/COMCAP/UEM).

Ensayo de resistencia a la compresión de los ladrillos de suelo cemento

Resistencia a la compresión es un parámetro clave a considerar en la producción de ladrillos y cemento para la construcción. En este sentido, una resistencia satisfactoria a edades más bajas son esenciales debido a la extracción, el curado, el almacenamiento y el transporte producirse a un ritmo acelerado. Para las pruebas de resistencia a la compresión, se utilizaron bloques con diferentes mezclas y su composición, siguiendo las recomendaciones de NBR 8492/2012. Las dimensiones de las fases del trabajo se determinaron con una precisión de 1 mm, y la muestra se colocó en la placa inferior de la máquina de ensayo de compresión. Las cargas de rotura se aplicaron por equipo debidamente calibrado para realizar la prueba de compresión. La aplicación de la carga era uniforme y elevada gradualmente hasta que se produjo la primera grieta visible en la superficie de la muestra.

Resultados y discusión

Producción de ladrillos reciclados de suelo cemento

Para la composición del suelo cemento, se utilizó tierra, que se trituró con vistas a su transformación en materiales granulares de apariencia similar a una arena de construcción gruesa y cemento. El cemento es un material aglutinante hidráulico que se endurece bajo ciertas condiciones y es capaz de la adición de otros materiales, obtenidos por pulverización de Clinker Portland (MME 2010). El cemento Portland es una mezcla de Clinker con yeso, y el Clinker es obtenido de la calcinación de piedra caliza (MME 2010). En este trabajo fue empleado el cemento Portland común - CP I, que es una referencia por sus características y propiedades favorables para la producción de suelo cemento y es el tipo que generalmente se vende en la región de Maringá, Paraná, Brasil. Como se describe en la Tabla 1 se prepararon varios materiales que tienen como referencia la norma NBR 10833 (ABNT, 2012), con diferentes porcentajes de cemento y diferentes formas de realización de la ceniza de bagazo de caña, aserrín y residuos de PET, que eran probado para determinar la resistencia a la compresión y la capacidad de absorber agua correspondiente a las edades de 28 y 56 días.

Las diferentes composiciones (Tablas 1 y 2) de interés se prepararon para evaluar el efecto del aumento en el contenido de cemento y la incorporación de materiales reciclados en la resistencia de los ladrillos, y también para evaluar la influencia de la edad de los ladrillos con estas propiedades. Durante la preparación de los materiales se hizo evidente que no está permitido el uso de residuos de PET para una mezcla homogénea y compacta y, por lo tanto, no se analizaron.

Caracterización Química y Física de los ladrillos reciclados de suelo cemento

Para todos los materiales del suelo de cemento de reciclados se realizaron análisis de difracción de rayos X. En las composiciones de los ladrillos que se introdujeron CBC mostró picos que caracteriza el material como cristalino. A través de la comparación con las formas cristalográficas de materiales de referencia puros JCPDS-ICCD (International Centre for Diffraction Data, 1996 *apud* Freitas, 2005), se puede decir que existe la presencia de más de 98% de SiO₂ cristalino (cuarzo) y menos de 2% trimidita y cristobalita. Puesto que las composiciones de los ladrillos no se incorporaron a CBC, los análisis de difracción de rayos X mostraron que son amorfos, y se mantuvo este comportamiento para estas composiciones, incluso después del tratamiento térmico realizado a 600°C.

Para ladrillos de cenizas de suelo cemento con la incorporación de bagazo de caña se llevó a cabo el análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar la composición química, con las siguientes proporciones: SiO₂ (48,35%), Fe₂O₃ (23,14%) y Al₂O₃ (11,2%), K₂O (6,86%), TiO₂ (5,61%) y otros elementos en proporciones más pequeñas. Varios autores en la literatura (Sales, 2010; Smith, 2008; Souza, 2011) describen la incorporación de la ceniza de bagazo caña de azúcar en los materiales aplicados a la construcción, donde obtuvieron resultados prometedores en el tema de la resistencia a la compresión, tracción por compresión diametral, la tracción por flexión, y la absorción de agua que podría ser utilizado como un sustituto parcial de la arena en el hormigón producido con Clinker de cemento modificado. Se entiende, entonces la relevancia de este estudio con interés las necesidades de desarrollo social que contribuyan a la sostenibilidad del planeta.

El análisis por microscopía electrónica de barrido (Figura 1) que tuvo lugar en los ladrillos de suelo cemento reciclado (Figura 1) mostró para cada composición estudiada, una superficie poco porosa que indica una buena adherencia de los materiales (Figura 1A) confirmados por micrografía (Figura 1B) donde la ceniza ha sido incorporada de manera uniforme en la mezcla. El análisis también se realizó para cada composición mediante la aplicación de un tratamiento térmico de 600° C. Incluso después del tratamiento térmico, no había separación de fases y la incorporación de material reciclado permaneciendo distribuidas de manera uniforme en todo el ladrillo de suelo cemento, lo que confirma la información obtenida en el análisis de rayos-X.

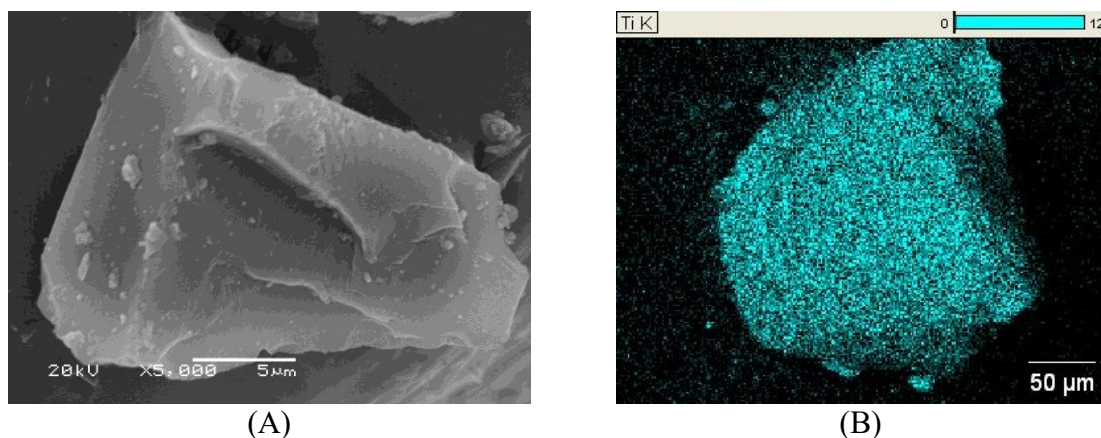


Figura 1. Micrografía de ladrillo reciclado de suelo cemento: (A) con detector de imágenes de electrones secundarios (B) Imagen obtenida con EDS para Ti.

La Tabla 2 presenta datos sobre la absorción de agua para todos los materiales, verificando que todas cumplen la absorción máxima del 20%, recomendado por la NBR 12118 (ABNT, 2013) que especifica los métodos de prueba para determinar la absorción de agua y resistencia a la compresión de los ladrillos de suelo cemento.

Las pruebas de resistencia a la compresión para ladrillo de suelo cemento reciclados se muestran en la Tabla 2. Estos ensayos se realizaron después de 28 y 56 días después de la preparación. Los valores individuales de resistencia a la compresión, expresada en MPa, se obtuvieron dividiendo la carga máxima (Kgf), observada durante la prueba, el promedio de las áreas de las dos fases de trabajo teniendo en cuenta sólo la sección transversal útil correspondiente a la zona de la sección transversal total, menos el área máxima de los agujeros.

Tabla 2. Absorción de agua en ladrillos de suelo cemento reciclado y la resistencia (MPa) a la compresión de ladrillos de suelo cemento reciclados.

Suelo	Cemento	Cenizas (CBC)	Aserrín (PS)	PET	AA ¹	Resistencia (Mpa) 28 dia	Resistencia (Mpa) 56 dias
100	-	-	-	-	19,8	1,60	1,78
90	10	-	-	-	17,1	7,71	7,77
80	20	-	-	-	17,2	8,54	8,63
70	30	-	-	-	17,5	9,87	9,91
70	-	30	-	-	12,5	7,21	7,35
70	20	10	-	-	12,8	8,14	8,42

70	10	20	-	-	12,6	8,26	8,32
70	30	-	20	-	14,7	9,04	9,74
70	20	-	10	-	14,5	7,96	8,05
60	-	30	10	-	13,3	6,87	6,91
60	20	10	10	-	14,1	8,62	8,75
70	10	10	10	-	13,5	8,32	8,44

¹Prueba de Absorción de Água (AA)

El análisis de los resultados identificó una tendencia a cumplir con los requisitos de la norma ISO 8492/2012. Según la norma, la resistencia a la compresión de los ladrillos masiva del suelo cemento no debe ser menor de 2,0 MPa (para valores medios) y 1,7 MPa para los valores individuales, la resistencia a la compresión simples de los ladrillos después de 28 y 56 días para composiciones estudiadas eran mucho más altos que el valor mínimo (Tabla 2).

Debe tener en cuenta que la adición de ceniza de bagazo de caña y aserrín al material de suelo cemento no cambia la resistencia de estos materiales. Al comparar las resistencias a la compresión con diferentes proporciones de mezclas de ladrillos de suelo cemento con ladrillos reciclados de suelo cemento y ceniza (bagazo de caña de azúcar y aserrín) no se observan cambios significativos en la resistencia o al ladrillo fabricado con suelo y ceniza. También la comparación de los estudios de otros autores (Dallacort et al., 2002; Corrêa et al, 2006; Melo, 2011; Ferrari et al, 2014) encontró un aumento significativo en la resistencia de estos materiales o trabajo similar.

Un comportamiento similar se puede observar (Tabla 2) con el porcentaje de absorción de agua (AA) de los ladrillos a la edad de 28 y 56 días. El resultado promedio de cada composición de ensayo muestra una tendencia a estabilizar la capacidad de absorción de agua de los ladrillos con el progreso de la edad después de 28 días. Importante tener en cuenta que los valores de absorción de agua de ladrillo son siempre inferiores a 20%, según lo prescrito por la norma NBR 8491 (ABNT, 2012). Mediante el análisis de los datos de absorción de agua se observa una disminución en los valores de absorción con el aumento de la proporción de ceniza de bagazo de caña en el ladrillo de suelo cemento reciclado que es un hecho importante y que puede garantizar un aumento de la resistencia mecánica y durabilidad de estos productos.

Cuando se piensa en el costo/beneficio de cualquier casa en la composición de ladrillos de suelo cemento, la Tabla 2 muestra que la reducción de la proporción de cemento de 20% a 10% en esta composición, añadiéndose 20% de cenizas, se consigue un ladrillo con suelo cemento con resistencia de 8,26Mpa (28 días) y 8,32Mpa (56 días) muy similar al anterior con 20% de cemento - que era de 8,54Mpa (28? días) y 8,63Mpa (con 56 días). Se obtiene un resultado similar cuando se añade agregado de aserrín con reducción del 10% en la proporción de cemento de 20% para 10% en la composición del ladrillo de suelo cemento con la resistencia de 8,32Mpa (28 días) y 8,44Mpa (56 días).

Por lo tanto, se puede proponer que hay una reducción de los costos en la producción del ladrillo de suelo cemento con una reducción de 20% para 10% del cemento necesario, y también un impacto ambiental positivo en lo que respecta el destino final de residuos de cenizas de bagazo de caña y aserrín como el agregado. Con la gran cantidad de bagazo de caña como residuos de la producción azucarera existente, existe la viabilidad financiera cuanto ambiental en añadir junto al cemento en la composición de ladrillos de suelo cemento con el propósito de aplicación en la construcción civil; y del mismo modo añadido al residuo y aserrín. Como resultado de esta reflexión se podría abrir nuevos campos de investigación para el uso de estos agregados también en el concreto estructural de columnas de hormigón, vigas, losas y los subsuelos, entre otros, que contribuyen al medio ambiente.

Estos ladrillos de suelo cemento reciclado también se sometieron a ensayos de resistencia química (ASTM D 695 en: Tawfik y Eskander, 2006) a través de su inmersión en el agua potable, Na_2CO_3 al 20%, el 10% de NaOH y HCl al 10% para 07 días. En estas soluciones de los materiales también se sumergieron en soluciones detergentes. Se llevaron a cabo inspecciones visuales y registros de masa antes y después del período de análisis. No se observó desgaste y pérdida de peso significativa de soluciones neutras y ácidas, ya para soluciones alcalinas en la presencia de NaOH (pH mayor que 12,0) hubo un mayor desgaste de los ladrillos de suelo cemento reciclado (que contiene ceniza), probablemente debido a la formación de silicatos de sodio, orto silicatos o piro silicatos.

Conclusiones

La incorporación de la ceniza del bagazo de caña de azúcar y aserrín en el en el ladrillo de suelo cemento, asociado a la disminución de porcentaje de cemento en la mezcla, mostró que la resistencia de los materiales producidos es de más de 2 MPa y la absorción de agua por debajo del valor máximo de 20% recomendado por la norma. Así, por consideraciones tanto económicas como ambientales los ladrillos de suelo-cemento-reciclado obtenidos con la presencia de la ceniza del bagazo de caña y aserrín pueden fabricarse y aplicarse en la construcción civil sin función estructural.

La aplicación de estos residuos sólidos (ceniza de bagazo de caña de azúcar y aserrín) en la producción de ladrillos presentan una alternativa viable e integra los beneficios de la producción de ladrillo con la reducción de los insumos (residuos sólidos) con alto impacto ambiental debido a la cantidad grande generada y la falta de disposición apropiada.

Agradecimientos

Master en Tecnologías Limpias del Centro Universitário Cesumar, Directoria de Investigación del UniCesumar, Universidade Estadual de Maringá – UEM en función de los análisis realizados en la Central Analítica, Cerâmica Florai, Usina Santa Terezinha, Marcenaria La Vita Móviles y Procpet – Materiales Reciclados de Plástico.

Referencias

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 04 páginas. <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=193718>.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12118: Tijolo maciço de solo-cimento - Procedimentos para verificar a absorção de água para blocos de tijolo e concreto de alvenaria. Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 14 páginas. <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=314197>

ALMEIDA, Alessandra Eutuko Feuzicana de Souza. TONOLI, Gustavo Henrique Denzin. SANTOS, Sergio Francisco. & SAVASTANO Junior Holmer (2013). Improved durability of vegetable fiber reinforced cement composite subject to accelerated carbonation at early age. *Cement & Concrete Composites*, 42, 49-58. https://www.researchgate.net/publication/264934255_Improved_durability_of_vegetable_fiber_reinforced_cement_composite_subject_to_accelerated_carbonation_at_early_age

BRAGANÇA, Fabio de Campos. VALADARES, Leonardo Fonseca. LEITE, Carlos Alberto de Paula & GALEMBECK, Fernando (2007). Counterion effect on the morphological and mechanical properties of polymer-clay nanocomposites prepared in an aqueous medium. *Chemistry of Materials*, 19, 3334-3342. https://www.researchgate.net/publication/231240073_Counterion_Effect_on_The_Morphological_and_Mechanical_Properties_of_PolymerClay_NanoComPosites

CORREIA, Andréa Aparecida Ribeiro. TEIXEIRA, Vitor Hugo. LOPES, Sebastião Pereira, & Oliveira, Marcelo Silva. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do Adobe (tijolo de Terra Crua). *Ciência e Agrotecnologia*, 30(3), 503-515, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542006000300017>

DALLACORT, Rivanildo. LIMA JUNIOR, Humberto Carlos. WILLRICH, Fábio Leonardo. BARBOSA, Normando Paulo. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(3), 511-518, 2002. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v6n3/v6n3a22.pdf>

FERRARI, Vladimir José. SOUZA, Álvaro Henrique Cândido. BALTAZAR, Henriqu Paes. DOTTO, Wilgner. VIEIRA NETO, José Gabriel. Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. *Ambiente Construído*, 14(3), 131-148, 2014.

FREITAS, Eliane de Souza Caracterização da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar do Município dos Campos Goytacazes Para Uso na Construção Civil. Rio de Janeiro, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GALEMBECK, Fernando. BARBOSA, Cezar Augusto Sales. SOUZA, Rafael Aarromba. Aproveitamento sustentável de biomassa e de recursos naturais na inovação química. Química Nova, 32(3), 571 – 581, 2009. http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol32No3_571_02-QN09149.pdf

GRANDE, Fernando Mazzeo (2003). Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com adição de sílica ativa. São Carlos: EESC-USP, 165p. Dissertação Mestrado. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-07072003-160408/pt-br.php>

MANFROI, Eliz Paula. CHERIAF, Malik. ROCHA, Janaide Cavalcante. MICROSTRUCTURE, MINERALOGY AND environmental evaluation of cementitious composites produced with red mud waste. Construction and Building Materials, 67, 29-36, 2014. <https://www.deepdyve.com/lp/Elsevier/microstructure-mineralogy-and-environmental-evaluation-of-cementitious-2FSHxIAdWX>

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2010. II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa. Relatório de referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos Industriais – Produtos minerais, Parte I – Produção de Cimento. Brasília, 2010. Disponível em www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228962.pdf.

MELO, Aluísio Braz. BARBOSA, Normando Perrazo. LIMA, Marçal Rosas Florentino. SILVA Elisângela Pereira Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. Ambiente Construído, 11(2), 111–124, 2011. <http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n2/a08v11n2.pdf>

PAULA, Marcos O. TINÔCO, Ilda de F. F. RODRIGUES, Conrado S. SILVA, Elizabeth N. SOUZA, Cecília de 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, 13, 353-357, 2009. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1415-43662009000300019&lng=pt&tlng=pt

RIPPEL, Márcia Maria. BRAGANCA, Fábio do Carmo. Natural Rubber and Nanocomposites with Clay. Química Nova, 32, 818-826, 2009. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000300024&script=sci_arttext&tlng=en

RODRIGUES, André W. BRASILEIRO, Maria I. ARAÚJO, Williane. ARAÚJO, Edcléide M., NEVES, Gelmires A. MELO, Tomás J. A. Desenvolvimento de nanocompósitos polipropileno/argila Bentonita Brasileira: I Tratamento da argila e influência de compatibilizantes polares nas propriedades mecânicas. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 17, 219 – 227, 2007. <http://www.scielo.br/pdf/po/v17n3/07.pdf>

SALES, A. LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Management*, 30, 1114-1122, 2010. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20163947>

SILVA, E. P. NASCIMENTO, J. W. B. BARBOSA, N. P. LEAL, A. F. Avaliação de painéis de tijolos prensados de solo-cimento incorporados com resíduos de calçados (EVA). *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 3(2), 44-49, 2008. <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/66/96>

SOUZA, Márcia I. B. SEGANTINI, Antônio A. S. PEREIRA, Joelma A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(2), 205-212, 2008. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n0214.pdf>

SOUZA, Thiago Augusto Corrêa. NUNES, Grécia Aparecida. SOARES, Juzelma Marinkes. QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade Análise preliminar da resistência à compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de Ipaba. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 3(1), 48-61, 2011. <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/795/pdf>

TAWFIK, Magda E. ESKANDER, Samir. Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly (ethylene terephthalate). *Journal of Elastomers and Plastics*, 38, 65-79, 2006. https://www.researchgate.net/publication/249776195_Polymer_Concrete_from_Marble_Wastes_and_Recycled_Polyethylene_terephthalate

VALADARES, Leonardo F. LEITE, Carlos Alberto Paula. GALEMBECK, Fernando. Preparation of natural rubber montmorillonite nanocomposite in aqueous medium: evidence for polymer-platelet adhesion. *Polymer*, 47, 672-678, 2006. https://www.researchgate.net/publication/244305851_Preparation_of_natural_rubber-montmorillonite_nanocomposite_in_aqueous_medium_Evidence_for_polymer-platelet_adhesion

VIEIRA NETO, José Gabriel. Análise da utilização de diferentes misturas de solo-cimento com vistas à produção de tijolos maciços. *Acta Iguazu*, 1(3), 71-87, 2012. https://www.researchgate.net/publication/265124527_Analise_da_utilizacao_de_diferentes_misturas_de_solo-cimento_com_vistas_a_producao_de_tijolos_macicos

YANG, H. CHENG, C. PAN, L. LU, H. SUN, H., Hu, X. Preparation of double-layer glass-ceramic/ceramic tile from bauxite tailings and red mud. *Journal of the European Ceramic Society*, 29, 1887-1894, 2009.

YANG, Jiakuan. XIAO, Bo. Development of unsintered construction materials red mud wastes produced in the sintering alumina process. *Construction and Building materials*, 22, 2299-2307, 2008. https://www.researchgate.net/publication/248541598_Development_of_Unsintered_C

onstruction_Materials_from_Red_Mud_Wastes_Produced_in_the_Sintering_Alumin
a_Process

Submetido em 13/08/2017

Aprovado em 18/11/2017

Sobre o(s) Autor(es):

José Eduardo Gonçalves

Possui especialização pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2000). Atualmente é Analista do Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Metodologia e Técnicas da Computação.

Email: jose.goncalves@unicesumar.edu.br

Rebecca Manesco Paixão

Possui graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário de Maringá - UNICESUMAR (2014) e licenciatura em Matemática pela mesma instituição (2017). É Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá - UEM (2017), atuando na linha de pesquisa: Gestão, Controle e Preservação Ambiental. Atualmente é doutoranda em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá - UEM.

Email: jegoncal@gmail.com

Judson Ricardo Ribeiro da Silva

Possui graduação em Química pela Universidade Estadual de Londrina (1995), Graduação em Engenharia Civil pela UniCesumar em (2015) e mestrado em Engenharia pela Universidade Federal do Paraná (2004), atuando principalmente no seguinte tema: Cerâmica. Profissional com atuação por 16 anos na Área Industrial/Técnica, em empresas cerâmicas de grande e médio porte, em empresa multinacional na Área de Qualidade/Industrial e 7 anos como professor de Química e Física na rede Estadual de Ensino no Estado do Paraná. Grande experiência na Atividade Industrial, englobando as áreas: Técnica, Pesquisa e Desenvolvimento de Produto e Materiais, Produção e Controle de Qualidade, Comercial (Assistência Técnica).

Email: judson.silva@unicesumar.edu.br

Newton Cesar Feltrim Aquotti

Especialização em Direito Civil e Processual Civil pela Faculdade Maringá, Brasil(2008) Oficial de Justiça Avaliador Federal do Justiça Federal de 1ª Instância no Paraná, Brasil.

Email: newtonaquotti@yahoo.com.br

Paulo Sérgio da Silva

Possui graduação em Licenciatura em Química (2009) e mestrado em Química Aplicada (2011) pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e doutorado em Química (2014) pela Universidade Federal de Santa Catarina. Foi professor substituto no Instituto Federal do Paraná, Campus Curitiba entre 2015 a 2017.

Email: pssfaculdade@gmail.com

Maria de los Angeles Perez Lizama

Possui graduação em Biologia pela Universidade de Mogi das Cruzes (1988), mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (1994) e doutorado em Ecologia

de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (2003). Atualmente é professora na UNICESUMAR, onde desempenha atividades de pesquisa, orientação e docência como responsável na graduação pelas disciplinas de Zoologia de Vertebrados no curso de Ciências Biológicas e Ecologia e Bioclimatologia nos cursos de graduação de Medicina Veterinária e Agronomia e na pós-graduação em Tecnologias Limpas.

Email: lizamamdla@hotmail.com

Márcia Aparecida Andreazzi

Graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá (1990), mestrado em Ciências Biológicas (Biologia Celular) pela Universidade Estadual de Maringá (1994), doutorado em Produção Animal pela Universidade Estadual de Maringá (2002) e estágio pós-doutoral pela Universidade Federal de Minas Gerais (2008). Atualmente é professora do Curso de Medicina Veterinária e do Mestrado em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Cesumar - UNICESUMAR.

Email: marcia.andreazzi@unicesumar.edu.br

Armando Alberto de Moraes Filho

Email: arnaldo.engenhar@gmail.com