

La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros

R. A. Berenguer^{1*}, F. A. Nogueira Silva², S. Marden Torres³, E. C. Barreto Monteiro^{2,4}, P. Helene⁵, A. A. de Melo Neto¹

*Autor de Contacto: templarios_pm@hotmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.187>

Recepción: 24/02/2017 | Aceptación: 21/12/2017 | Publicación: 30/01/2018

RESUMEN

El artículo presenta un programa experimental, con el objetivo de investigar el potencial del uso de las cenizas de orujo de caña de azúcar como una sustitución parcial del cemento en la producción de morteros. Las cenizas del bagazo de caña de azúcar de dos orígenes fueron estudiadas: una oriunda directamente de la industria de caña de azúcar y otra de pizzerías que utilizan este material en sustitución de la madera en sus hornos. La metodología siguió con la caracterización del material, donde fue realizado a través de pruebas de laboratorio utilizando la difracción de rayos X (XRD) y la fluorescencia de rayos X (WDXRF) y pruebas iniciales para la cuantificación ideal de sustitución del cemento por los residuos. Los resultados obtenidos indicaron que ambos residuos exhibieron características de pozolanicidad presentando cerca del 60% de material amorfo en su composición y pruebas de resistencia compresiva en diferentes edades mostraron resultados satisfactorios. Concluyendo que los residuos desempeñaron un papel importante en el incremento de las resistencias a la compresión a corto y largo plazo.

Keywords: cenizas de bagazo de caña de azúcar; resistencia a la compresión de morteros; reemplazo de cemento.

Citar como: R. A. Berenguer, F. A. Nogueira Silva, S. Marden Torres, E. C. Barreto Monteiro, P. Helene, A. A. de Melo Neto (2018), “*La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros*”, Revista ALCONPAT, 8 (1), pp. 30 – 37, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.187>

¹ Departamento de Engenharia Civil-Estruturas e Materiais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil.

² Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife-PE, Brasil

³ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, Brasil

⁴ Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco, Recife-PE, Brasil

⁵ Ph.D.-Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Rua Visconde em Ouro Negro, São Paulo, Brasil

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2018 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2018.

On the influence of sugarcane bagasse ashes as a partial replacement of cement in compressive strength of mortars

ABSTRACT

This paper presents an experimental program objectifying at investigating the potential of the use of sugarcane bagasse ash as a partial replacement of cement in the production of mortars. Sugarcane bagasse ashes from two origins were studied - one from sugarcane industry directly and other from pizzerias that uses this material replacing the wood in their ovens. The methodology followed the characterization of the material, where it was carried out through laboratory tests using X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (WDXRF) and initial tests for the ideal quantification of cement substitution by residues. Results obtained indicated that both residues exhibited pozzolanic features presenting about 60% of amorphous material in their composition and compressive strength tests at different ages showed satisfactory results. Concluding that residues played an important role in increasing short and long term compressive strengths.

Keywords: sugarcane bagasse ashes; compressive strength of mortars; replacement of cement.

A influência das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento na resistência à compressão de argamassa

RESUMO

O artigo apresenta um programa experimental, objetivando investigar o potencial do uso das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como uma substituição parcial do cimento na produção de argamassas. As cinzas do bagaço de cana-de-açúcar de duas origens foram estudadas: uma oriunda diretamente da indústria de cana-de-açúcar e outra de pizzarias que utilizam este material em substituição a madeira em seus fornos. A metodologia seguiu com a caracterização do material, onde foi realizado através de testes de laboratório utilizando a difração de raios X (XRD) e a fluorescência de raios X (WDXRF) e testes iniciais para a quantificação ideal de substituição do cimento pelos resíduos. Os resultados obtidos indicaram que ambos os resíduos exibiram características pozolanas apresentando cerca de 60% de material amorfo na sua composição e testes de resistência compressiva em diferentes idades mostraram resultados satisfatórios. Concluindo que os resíduos desempenharam um papel importante no incremento das resistências à compressão a curto e de longo prazo.

Palavras-chave: cinza de bagaço de cana-de-açúcar; compressão de argamassa; substituição de cimento.

1. INTRODUCCIÓN

Brasil es el mayor productor de caña de azúcar en el mundo y este producto juega un papel importante en la economía del país, especialmente en su región noreste. Este sector industrial es responsable por generar cerca de 3,6 millones de empleos directos e indirectos, además de ser económicamente significativo para el país en las relaciones comerciales nacionales e internacionales, las que representan 2,4% del producto interno bruto (PIB) (ALBINO et al, 2015). Estas cifras muestran la importancia del sector para la economía del país y aumentan la necesidad de realizar más investigaciones para permitir el uso racional de los residuos generados.

El residuo más atractivo de la industria de la caña de azúcar es su bagazo, el cual puede ser usado de diversas formas. Una de estas formas es la generación de energía eléctrica, un proceso que implica quemar el bagazo a altas temperaturas lo que produce una cantidad significativa de

La influencia de las cenizas de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de los morteros

residuos a menudo denominados cenizas de bagazo de caña de azúcar. Este tipo de ceniza también es generado en pizzerías que usan el bagazo como sustituto de la madera en sus hornos. Investigaciones recientes indican que el principal compuesto químico de tales cenizas es el SiO₂ que exhibe un gran potencial para ser usado como adición mineral en concretos o morteros, con objetivos puzolánicos.

El uso de materiales puzolánicos como sustitución parcial del cemento en morteros y concretos trae consigo varias ventajas y la más importante está relacionada con la reducción de la emisión de CO₂ ya que para obtener estos materiales la demanda de energía es menor en comparación a la energía que envuelve el proceso de producción del clinker.

Además, diversas investigaciones sobre la producción de morteros y concretos usando cenizas de bagazo de caña de azúcar como un material suplementario con propiedades cementosas (MCS) ya han demostrado ser un procedimiento eficiente sin pérdida de resistencia a compresión de las muestras probadas.

Dentro de ese contexto, este documento discute sobre las posibilidades de usar cenizas de bagazo de caña de azúcar (CBCA) provenientes de una pizzería como sustitución parcial del Cemento Portland para producir morteros usados en diversas aplicaciones en la industria de la construcción.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiales

Se usó un cemento Portland de alta resistencia inicial, padrón brasileño CPV ARI similar al cemento tipo III de la ASTM, con masa específica 3,17 g/cm³ y área específica 8924 cm²/g de acuerdo con la norma NBR NM 16372 y la ASTM C231/C231M – 17^a (2003).

Se utilizaron dos tipos de bagazo de caña: un proveniente de la industria de caña de azúcar (CBCA-Ind) y el otro procedente de una pizzería que usa el bagazo en sustitución de la madera en sus hornos (CBCA-Piz). Las cenizas del bagazo de caña de azúcar se obtienen a temperaturas de 400 °C en la pizzería y a 500 °C en la industria. De acuerdo con Ribeiro (2012) y Cordeiro (2009), la mayor temperatura para quemar el bagazo de caña de azúcar es 600 °C, bajo combustión controlada. Es importante destacar que las cenizas colectadas permanecieron en su forma natural sin ser sometidas a ningún tipo de tratamiento térmico.

La CBCA-Ind fue colectada de un productor de azúcar y alcohol local del estado de Pernambuco en el noroeste de Brasil y la CBCA-Piz fue colectada en una pizzería de la región metropolitana de la ciudad de Recife del estado de Pernambuco que usa bloques de bagazo prensados en lugar de la madera en sus hornos. Las muestras de cenizas usadas en este trabajo se secaron a través de un proceso de tamizado durante 20 minutos a una velocidad de 70 rpm para obtener una fracción que pasa a través de la abertura del tamiz de 0,075 mm.

De acuerdo con las normas NBR NM 23 (2001) y la ASTM D1298-12b (2017) la masa específica y área específica de ambas cenizas pulverizadas son: 2.37 g/cm³ y 6539 cm²/g, para la ceniza CBCA-Ind y 2.72 g/cm³ y 6550 cm²/g para la CBCA-Piz, respectivamente.

Los ensayos utilizados para evaluar la actividad puzolánica mostraron que los dos tipos de CBCA estudiadas tienen potencial para ser aplicados como adicción puzolánica. Los resultados obtenidos también fueron observados por Nunes (2009), Cordeiro (2009) y Frias (2007). La composición química de las cenizas de bagazo y del Cemento Portland se muestran en la Tabla 1. La cristalografía en el difractograma se muestra en la Figura 1 y la Figura 2. Estos valores característicos de SiO₂ con picos con ángulos de 26,5° grados también fueron descritos por Ribeiro (2014). Ambos tipos de cenizas están compuestas principalmente por material amorfo (BERENQUER, R.A; SILVA F.A.N. et.al. 2016).

Tabla 1- Composición química de las cenizas estudiadas.

Elementos químicos	Cemento Portland	CBCA -Piz	CBCA -Ind
SiO ₂	18.30 %	63.61 %	84.86%
CaO	63.40%	7.18%	2.96%
MgO	0.62%	6.85%	2.54%
Fe ₂ O ₃	3.31%	6.63%	3.83%
SO ₃	3.32%	4.43%	0.38%
K ₂ O	0.78%	4.03%	1.38%
Al ₂ O ₃	4,01%	2.51%	1.91%
Cl	0.12%	1.81%	-
Na ₂ O	0.24%	1.04%	0.47%
P ₂ O ₅	0.38%	0.87%	0.38%
TiO ₂	0.21%	0.62%	0.75%
ZrO ₂	-	0.14%	0.12%
MnO	0.08%	0.12%	0.19%
Cr ₂ O ₃	0.02%	0.06%	0.05%
SrO	0.32%	0.05%	0.03%
ZnO	0.01%	0.04%	0.03%
Rb ₂ O	-	0.02%	0.015%

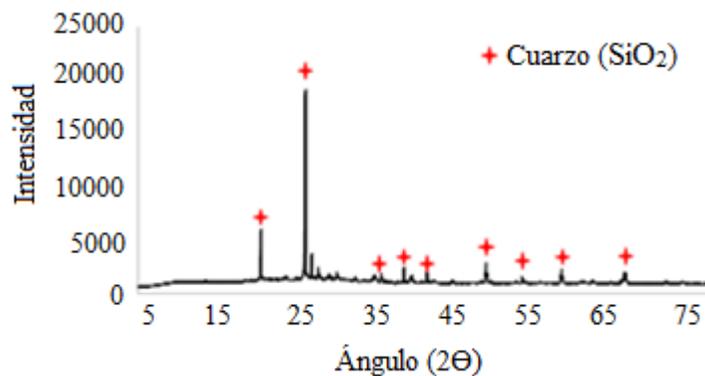


Figura 1. CBCA-Piz - resultados de DRX. Fuente: Autor (2016).

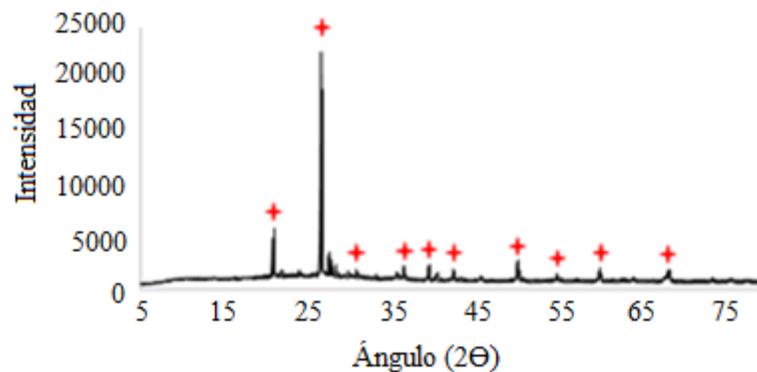


Figura 2. CBCA-Ind - resultados de DRX. Fuente: Autor (2016).

2.2 Diseño de la mezcla

Para determinar la cantidad óptima de cenizas y substituir parcialmente el cemento fueron producidas seis mezclas diferentes con cada ceniza, además de la mezcla de referencia (REF): CBCA procedente de la pizzería (CBCA-Piz-5%, CBCA-Piz-10%, CBCA-Piz-15%, CBCA-Piz-20%, CBCA-Piz-25% y CBCA-Piz-30%) y CBCA procedente de la industria de caña de azúcar (CBCA-Ind-5%, CBCA-Ind-10%, CBCA-Ind-15%, CBCA-Ind-20%, CBCA-Ind-25% y CBCA-Ind-30%). Para evaluar la resistencia a compresión a los 28 días fueron preparadas seis muestras con cada mezcla. La Tabla 2 resume la dosificación de cada una de las mezclas usadas.

Tabla 1. Mezclas de mortero utilizadas.

CBCA (%)	Cemento (kg)	Arena (kg)	Agua (ml)	CBCA (g)
0	624,00	1.872	300	-
5	592,80	1.872	300	31,2
10	561,60	1.872	300	62,4
15	530,40	1.872	300	93,6
20	499,20	1.872	300	124,80
25	468,00	1.872	300	156,00
30	436,80	1.872	300	187,20

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 3 y 4 presentan los resultados del ensayo de resistencia a compresión desarrollado en cuerpos de prueba cilíndricos con 50 mm de diámetro y 100 mm de altura. El ensayo se hizo con base en las normativas NBR 5739 (2007) y ASTM E9-89 00 (2000).

Tabla 2. Resistencia a compresión– CBCA procedente de la pizzería.

ID	REF	CBCA -Piz (5%)	CBCA-Piz (10%)	CBCA-Piz (15%)	CBCA-Piz (20%)	CBCA-Piz (25%)	CBCA-Piz (30%)
1	20,3	23,0	18,4	29,7	14,7	22,0	14,2
2	30,7	27,7	19,2	29,9	23,2	23,2	19,6
3	31,3	22,4	20,6	31,2	24,7	23,5	22,7
4	31,6	32,0	21,8	31,4	26,4	24,7	23,5
5	32,2	34,1	22,1	33,2	27,2	27,8	24,0
6	32,4	35,5	30,1	35,4	31,7	28,8	25,4
Media	29,8	29,1	22,0	31,8	24,7	25,0	21,6
DS (MPa)	4,7	5,6	4,2	2,2	5,7	2,7	4,1
COV (%)	15,7	19,3	19,1	6,8	23,0	10,9	19,0

Tabla 3. Resistencia a compresión– CBCA procedente de la industria.

ID	REF	CBCA-Ind (5%)	CBCA-Ind (10%)	CBCA-Ind (15%)	CBCA-Ind (20%)	CBCA-Ind (25%)	CBCA-Ind (30%)
1	20,3	14,8	24,9	34,8	26,9	25,7	22,5
2	30,7	28,8	25,4	35,1	28,6	26,0	23,0
3	31,3	29,3	29,1	35,5	29,0	26,8	23,5
4	31,6	36,6	37,0	35,8	29,7	26,9	24,7
5	32,2	38,4	37,5	36,1	30,5	27,1	24,9
6	32,4	39,5	38,9	36,3	30,7	27,4	25,3
Media	29,8	31,2	32,1	35,6	29,2	26,7	24,0
DS (MPa)	4,7	9,2	6,4	0,6	1,4	0,7	1,1
COV (%)	15,7	29,6	19,9	1,6	4,8	2,5	4,8

Finalmente, analizando los resultados presentados en las Tablas 3 y 4, la ceniza de bagazo de caña de azúcar procedente de la industria mostro un mejor comportamiento con un coeficiente de variación pequeño: 1,6 %. La substitución de más del 15% del cemento por ceniza provocó una disminución de la resistencia a compresión en los morteros estudiados.

Después de seleccionar la cantidad óptima de ceniza de bagazo de caña de azúcar para substituir parcialmente el cemento, nuevas muestras fueron producidas con el objetivo de determinar la resistencia a compresión a los 28, 63 y 91 días de edad. La mezcla de mortero de referencia se diseñó para exhibir una resistencia a la compresión promedio de 40 MPa a los 28 días. Los valores de dispersión y resistencia a compresión promedio están presentados en la Tabla 5.

Table 4. Resultados de resistencia a compresión promedio y medidas de dispersión.

Mezcla	Edad (días)	Resistencia a compresión promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Referencia	28	40,110	1,402	3,496
	63	41,699	1,919	4,603
	91	43,829	1,716	3,914
CBCA-Piz-15%	28	40,126	1,804	4,496
	63	42,678	1,820	4,265
	91	44,128	0,612	1,405
CBCA-Ind-15%	28	39,686	0,853	2,150
	63	41,179	1,446	3,511
	91	43,201	0,869	2,012

Los parámetros estadísticos y coeficientes de variación obtenidos confirman que la resistencia a compresión aumentó de forma constante con el avance de la edad en todas las mezclas estudiadas. El coeficiente de variación resultó ser menor de 5% en todos los casos, esto demuestra que los procedimientos para controlar los procesos de preparación, moldaje y ensayos de las muestras fueron efectivos.

Los resultados obtenidos muestran que los morteros producidos con substitución parcial de la masa de cemento por ceniza de bagazo de caña de azúcar procedentes de la pizzería y de la industria, mostraron un buen desempeño en términos de resistencia a compresión en todas las edades estudiadas. Esto es especialmente importante cuando se considera que las mezclas de mortero producidas con cenizas tenían un contenido de cemento menor que las preparadas usando

solo cemento como agente aglomerante. Lo que significa que ambas cenizas estudiadas se comportaron como aglomerante y como material puzolánico. De hecho, el aumento de la resistencia a compresión a los 91 días fue de aproximadamente 8% en los morteros producidos con cenizas de bagazo de caña de azúcar, mientras que en los morteros producidos sin sustitución parcial del cemento el aumento fue solo del 5%, a la misma edad.

Estos resultados alientan el uso de cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento en diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil, con la ventaja adicional de producir dos efectos secundarios importantes y beneficiosos: (a) reducir el impacto medio ambiental que este residuo agroindustrial provoca en la naturaleza cuando es despejado y (b) disminuir el consumo de cemento y en consecuencia reducir significativamente las emisiones de CO₂ por tonelada de material cementoso.

Con el objetivo de evaluar la resistencia a tracción de los morteros estudiados, se desarrollaron ensayos de tracción por flexión (Ensayo brasileño de Lobo Carneiro) en las mismas edades en las que fue hecho el ensayo de resistencia a compresión. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 5. Resultados de resistencia a tracción promedio y medidas de dispersión.

Mezcla	Edad (días)	Resistencia a tracción promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente de variación (%)
Referencia	28	4,460	0,885	19,85
	63	4,082	0,103	2,52
	91	4,400	0,228	5,18
CBCA-Piz-15%	28	4,346	0,342	7,86
	63	4,034	0,083	2,06
	91	4,421	0,126	3,86
CBCA-Ind-15%	28	4,409	0,281	6,38
	63	4,067	0,154	3,80
	91	4,500	0,282	6,50

Como puede observarse, la resistencia a tracción de los morteros producidos con cenizas de bagazo de caña de azúcar es semejante a la resistencia a tracción del mortero de referencia, en todas las edades. Esto significa que el uso de estas cenizas no provoca ningún efecto indeseable en la resistencia a tracción de los morteros.

4. CONCLUSIONES

Con base en los procedimientos y equipos adoptados en esta investigación para evaluar la resistencia a compresión y resistencia a tracción del mortero, se verificó que sustituir 15% de la masa de cemento por CBCA procedente de la pizzería y de la industria de azúcar de caña genera un efecto aglutinante y puzolánico en los morteros.

El aumento de la resistencia a compresión a los 91 días fue de aproximadamente 8% para los morteros hechos con cenizas de bagazo de caña de azúcar, mientras que en los morteros sin sustitución parcial de la masa de cemento fue solo de un 5%, a la misma edad.

No se observó ningún efecto perjudicial en la resistencia a tracción de los morteros hechos con cenizas de bagazo de caña de azúcar.

Adicionalmente, los morteros con sustitución del 30% de la masa de cemento mostraron un comportamiento pésimo en todos los ensayos de resistencia mecánica.

La composición química de las cenizas, una gran superficie específica y alto grado de comportamiento amorfo explican ese comportamiento.

Estos resultados alientan el uso de cenizas de bagazo de caña de azúcar como sustitución parcial del cemento en diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil, con la ventaja adicional de producir dos efectos secundarios importantes y beneficiosos: (a) reducir el impacto medio ambiental que este residuo agroindustrial provoca en la naturaleza cuando es despejado y (b) disminuir el consumo de cemento y en consecuencia reducir significativamente las emisiones de CO₂ por tonelada de cemento producido.

5. REFERENCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. NM 23 - Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- _____. NBR 16372 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 2015.
- Albino, J. C., Creste, S., Figueira, A. (2015), *Mapeamento genético da cana-de-açúcar*. Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, 36: 82 – 91.
- Berenguer, R. A., Nogueira Silva, F. A., Barreto Monteiro, E. C., Silva Lins, C., Lima, A. (2016), “*Effect of Sugarcane Bagasse Ash as Partial Replacement of Cement on Mortar Mechanical Properties*”. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 21, pp. 4577-4586.
- Nunes, I. H. S., Vanderlei, R. D., Secchi, M. and Abe, M. A. P. (2009), *Estudo das características físicas e químicas do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção*. Revista Tecnológica; (17):39-48.
- Cordeiro, G. C., Toledo, R. D. Fo and Fairbairn, E. M. R. (2009), *Characterization of sugar cane bagasse ash for use as pozzolan in cementitious materials*. Quimica Nova; 32(1):82-86. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000100016>
- Ribeiro, D. V., Labrincha, J. A. and Morelli, M. R. (2012), *Effect of calcined red mud addition on the hydration of portland cement*. Materials Science Forum; 727-728:1408-1411. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.727-728.1408>
- Cordeiro, G. C., Toledo, R. D. Fo and Fairbairn, E. M. R. (2009), *Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash*. Construction and Building Materials.; 23(10):3301-3303. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.013>
- Frías, M., Villar-Cocina, E. and Valencia-Morales, E. (2007), *Characterisation of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: calcining temperature and kinetic parameters*. Waste Management. 27(4):533-538. PMID:16714102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.02.017>
- Ribeiro, D. V., Morelli, M. R. (2014), “*Effect of Calcination Temperature on the Pozzolanic Activity of Brazilian Sugar Cane Bagasse Ash (SCBA)*”. Materials Research (São Carlos. Impresso), v. 17, p. 974-981.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E9-89 00 (2000). Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature.
- _____. ASTM C231 / C231M - 17^a (2003). Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
- _____. ASTM D1298 - 12b (2017). Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method.