

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

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>

Recebido: 24/02/2017 | Aceito: 21/12/2017 | Publicado: 30/01/2018

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 pizzerias 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.

Citar como: R. A. Berenguer, F. A. Nogueira Silva, S. Marden Torres, E. C. Barreto Monteiro, P. Helene, A. A. de Melo Neto (2018), "A influência das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento na resistência à compressão de argamassa", 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

Informação Legal

Revista ALCONPAT é uma publicação da Associação Latino-americana Controle de Qualidade, Recuperação Patologia e Construção, Internacional, A. C., Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos ao No. 04-2013-011717330300-203 uso exclusivo, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional do Direito de Autor. Responsável pela atualização mais recente deste número, ALCONPAT Unidade Computing, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e imagens publicadas sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C é proibida.

Qualquer discussão, incluindo a réplica dos autores, serão publicados na terceira edição do 2018, desde que a informação é recebida antes do encerramento da segunda edição de 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.

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

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

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 pozzolanicidad 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.

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

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo e essa commodity desempenha um papel importante na economia do país, especialmente em sua região Nordeste. Este setor industrial é responsável por gerar cerca de 3,6 milhões de empregos diretos e indiretos, além de ser economicamente significativo para o país nas relações comerciais nacionais e internacionais, que representam 2,4% do produto interno bruto (ALBINO et al, 2015). Esses números mostram a importância do setor para a economia do país e aumenta a necessidade de novas pesquisas para permitir o uso racional dos resíduos gerados.

O resíduo mais atraente da indústria da cana é seu bagaço, que pode ser usado de várias formas. Uma destas maneiras é a cogeração de energia elétrica, um processo que envolve a queima do bagaço a altas temperaturas produzindo, assim, uma quantidade significativa de resíduos, muitas

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

vezes referidos como cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. Este tipo de cinza também é gerado em pizzarias que usam este material em substituição de madeira em seus fornos de lenha. Pesquisas recentes indicam que o SiO_2 é principal componente químico das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar que tem um grande potencial para utilização como adição mineral em concretos ou argamassas com finalidades pozolânicas.

A utilização de materiais pozolânicos como uma substituição parcial de cimento na confecção de concretos e argamassas apresenta várias vantagens sendo uma das mais importantes a redução de emissões de CO_2 porque sua obtenção demanda menos energia do que aquela associada à produção dos produtos associados ao *clínquer*.

Além disso, as pesquisas sobre a produção de concretos e argamassas com resíduos de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como materiais complementares já demonstraram ser um procedimento eficiente sem perda de resistência à compressão de espécimes testados.

Neste contexto, o artigo discute sobre as possibilidades de utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) de origem de pizzaria como uma substituição parcial de cimento Portland para produzir argamassas usadas em várias aplicações na indústria de construção civil.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

Cimento de alta resistência inicial (CPV ARI - semelhante ao cimento tipo III da ASTM) com massa específica de $3,17 \text{ g/cm}^3$ e superfície específica de $8924 \text{ cm}^2/\text{g}$ foi utilizado de acordo com NBR NM 16372 (2015) e ASTM C231 / C231M - 17^a (2003).

Dois tipos de bagaço de cana-de-açúcar foram estudados: um proveniente de uma indústria de cana-de-açúcar (CBCA-Ind) e outro de uma pizzaria que utiliza esse material em substituição à madeira no forno (CBCA-Piz). As temperaturas da cinza de bagaço de cana são $400 \text{ }^\circ\text{C}$ para a cinza coletada na pizzaria e 500°C para as coletadas na indústria, respectivamente. De acordo com Ribeiro (2012) e Cordeiro (2009), a melhor temperatura de queima do bagaço de cana-de-açúcar é de 600°C , sob controle. Ressalta-se que as cinzas coletadas permaneceram *in natura*, sem qualquer tipo de tratamento térmico.

A CBCA-Ind foi coletada de uma indústria produtora de açúcar e álcool localizada no Estado de Pernambuco no nordeste do Brasil e a CBCA-Piz foi obtida junto a uma pizzaria na Região Metropolitana do Recife, capital do Estado, que utiliza blocos de cinza prensada em substituição à madeira em seus fornos de lenha. As amostras de cinzas utilizadas na pesquisa foram secas por meio de processo de peneiramento durante 20 minutos a uma velocidade de 70 rpm para obter uma fração que passasse através da abertura da peneira de 0,075 mm.

Tanto a massa específica das cinzas pulverizadas quanto a superfície específica são: $2,37 \text{ g/cm}^3$ e $6539 \text{ cm}^2/\text{g}$ para CBCA-Ind e $2,72 \text{ g/cm}^3$ e $6550 \text{ cm}^2/\text{g}$ para CBCA-Piz de acordo com NBR, a NM 23 (2001) e a ASTM D1298 - 12b (2017).

Os testes utilizados para avaliar a atividade pozolânica mostraram potencial para ambos os tipos de CBCA estudados para utilização com fins pozolânicos. Os valores obtidos também foram encontrados por Nunes (2009), Cordeiro (2009) e Frias (2007). A composição química das cinzas de bagaço e do cimento Portland utilizado é apresentada na Tabela 1 e a sua e a cristalografia no difractograma são mostradas na Figura 1 e Figura 2. Estes valores característicos com picos em ângulos de $26,5^\circ$ graus de SiO_2 foram descritos por Ribeiro (2014). Ambos os tipos de cinzas são compostos principalmente por material amorfo (BERENGUER, R.A; SILVA F.A.N. et.al. 2016).

Tabela 1. Composição química das cinzas estudadas.

Elementos químicos	Cimento 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%

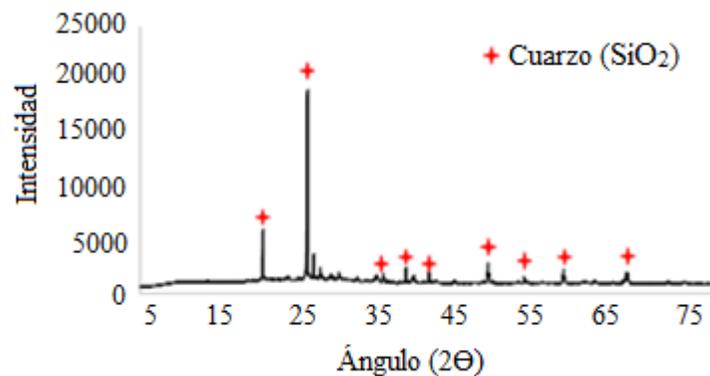


Figura 1. CBCA-Piz – Resultados do XRD - Fonte: Autor (2016).

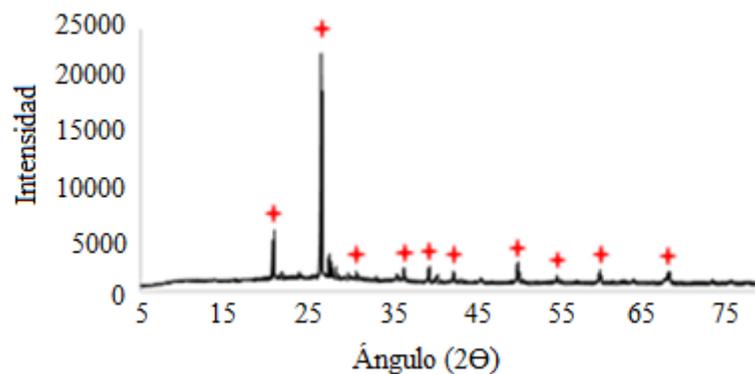


Figure 2. CBCA-Ind – Resultados do XRD - Fonte: Autor (2016).

2.2 Traços

Para se encontrar a quantidade ideal de substituição de cimento por ambas as cinzas estudadas, foram produzidos os seguintes traços de argamassa: um de referência (REF), um de CBCA de pizzeria (CBCA-Piz-5%, CBCA-Piz-10%, CBCA-Piz-15%, CBCA-Piz-20%, CBCA-Piz-25% e SCBA-Piz-30%) e outro de CBCA de indústria da cana-de-açúcar (CBCA -Ind-5%, CBCA -Ind-10%, CBCA -Ind-15%, CBCA -Ind -20%, CBCA -Ind-25% e CBCA -Ind-30%).

Para cada quantidade de substituição, seis corpos-de-prova foram preparados para avaliar suas resistências de compressão após 28 dias. A Tabela 2 resume os dados dos traços de argamassa utilizados.

Tabela 2. Traços de argamassa utilizados

CBCA (%)	Cimento (kg)	Agregado miúdo (kg)	Água (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 E DISCUSSÃO

A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam os resultados das resistências à compressão realizadas em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento de acordo com NBR 5739 (2007) e ASTM E9-89 00 (2000).

Tabela 3. Resistências à Compressão – CBCA de pizzeria

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
Média	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

Tabela 4. Resistências à Compressão – CBCA de indústria de cana-de-açúcar

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
Média	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, levando em consideração os dados da Tabela 3 e da Tabela 4, as cinzas de bagaço de cana de açúcar da indústria apresentaram um comportamento melhor com um coeficiente de variação muito baixo - 1,6%. Mais de 15% de substituição causou uma diminuição das resistências à compressão das argamassas estudadas.

Após a determinação do percentual ideal de substituição de cimento por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, foram produzidos novos corpos-de-prova para se investigar a resistência média nas idades de 28, 63 e 91 dias. O traço de argamassa de referência foi projetado para uma resistência à compressão média de 40 MPa aos 28 dias.

As médias de resistência à compressão e as medidas de dispersão dos corpos-de-prova estudados são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados de resistência à compressão e medidas de dispersão

Traço	Idade (dias)	Resistência à compressão média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Referência	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

Os parâmetros estatísticos e os coeficientes de variação obtidos confirmam que há um aumento consistente da resistência média à compressão dos corpos-de-prova com a idade para todas as traços. Os coeficientes de variação se situaram sempre abaixo de 5% em todos os casos e este fato destaca os excelentes procedimentos de controle da preparação, moldagem e ensaio dos corpos-de-prova.

Os resultados obtidos mostraram que as argamassas confeccionadas com substituição da massa de cimento por cinzas da pizzeria e da indústria da cana-de-açúcar exibiram um bom desempenho em termos de resistência à compressão média em todas as idades estudadas. Isto é especialmente importante quando se considera que os traços de argamassa fabricados com cinzas tiveram um

teor de cimento menor que aqueles onde se utilizou apenas cimento como aglomerante. Isto significa que ambas as cinzas estudadas desempenharam um papel como aglutinante e como material pozolânico. De fato, o aumento da resistência à compressão aos 91 dias foi de aproximadamente 8% para as argamassas feitas com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, enquanto que para as argamassas sem substituição o aumento foi de apenas 5%, na mesma idade. Esses resultados incentivam o uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituição do cimento em várias aplicações em campo de engenharia civil com a vantagem adicional de produzir dois efeitos colaterais importantes e benéficos: (a) redução do impacto ambiental da disposição desses resíduos agroindustriais na natureza e (b) diminuição do consumo de cimento com conseqüente redução significativa de emissões de CO₂ por tonelada de materiais de cimento. Para avaliar as resistências à tração das argamassa estudadas, os ensaios de compressão diametral foram realizados nas mesmas idades dos ensaios de compressão axial e os resultados obtidos se acham condensados na Tabela 6.

Tabela 6. Resistência à tração por compressão diametral média e medidas de dispersão.

Traço	Idade (dias)	Resistência à tração média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Referência	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 se pode perceber, as tensões de tração nas argamassas confeccionadas com cinzas de bagaço de cana de açúcar exibiram quase os mesmos valores obtidos para as argamassas de referência para todas as idades. Isso significa que o uso de tais cinzas não causa nenhum efeito indesejável nas tensões de tração das argamassas estudadas.

4. CONCLUSÕES

Com base nos procedimentos e equipamentos utilizados na pesquisa para avaliar as resistência à compressão e à tração por compressão diametral de corpos-de-prova de argamassa, verificou-se que a substituição de um teor de 15% de massa de cimento por CBCA de origem de pizzeria e de indústria da cana-de-açúcar gerou efeitos aglutinante e pozolânico.

O aumento da resistência à compressão aos 91 dias foi de aproximadamente 8% para as argamassas feitas com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar enquanto que para as argamassas sem substituição o aumento foi de apenas 5%, na mesma idade.

Não foi observado efeito indesejável nas resistências à tração das argamassas confeccionadas com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.

Além disso, 30% do CBCA se mostrou como um conteúdo péssimo na pesquisa, para todos os ensaios realizados.

A composição química das cinzas associadas à sua grande superfície específica e alto grau de amorfo explicam esse comportamento observado nos ensaios.

Os resultados obtidos incentivam o uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituição de cimento em várias aplicações em campo de engenharia civil com a vantagem adicional de produzir dois efeitos colaterais importantes e benéficos: (a) redução do impacto ambiental da disposição desses resíduos agroindustriais na natureza e (b) diminuição do consumo de cimento com conseqüente redução significativa de emissões de CO₂ por tonelada de materiais de cimento.

5. REFERENCES

- 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.