

CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO LITERÁRIA

Murilo Elias Rosa do Carmo (UFT) E-mail: murilo.elias@mail.uft.edu.br

Juan Carlos Valdés Serra (UFT) E-mail: juancs@uft.edu.br

Shara Carvalho Lopes (UFT) E-mail: shara_cl@hotmail.com

Karla Cristina Bentes Moreira (UFT) E-mail: kaarlamoreira@gmail.com

Renato Baiocchi Alves Veronese (UFT) E-mail: renatobaiocchi@gmail.com

Resumo: A preocupação com a preservação do meio ambiente, especialmente no cenário da construção civil, é cada vez mais crescente. Muitas pesquisas têm convergido para a utilização de resíduos agroindustriais na fabricação de novos materiais de construção, menos poluentes e mais eficientes, e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar apresenta um grande potencial como substituto parcial do cimento Portland. Este trabalho tem como objetivo estudar diversas fontes pesquisadoras afim de se analisar as propriedades do concreto com incorporação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, verificando suas propriedades físicas, mecânicas e químicas. Os teores de substituição parcial estudados foram: 5, 10, 15, 20 e 25%. Os resultados mostram que a substituição parcial do cimento Portland por cinza do bagaço da cana-de-açúcar no teor de 10%, com temperatura de queima para obtenção de 700° C, a uma faixa granulométrica de 50 µm, possui as melhores vantagens para confecção de concreto.

Palavras-chave: Cinza do bagaço da cana-de-açúcar, cimento Portland, atividade pozolânica, substituição parcial.

CONCRETE WITH THE INCORPORATION OF SUGARCANE BAGASSE ASH: A LITERATURE REVIEW

Abstract: The concern for the preservation of the environment, especially in the civil construction scenario, is increasing. Many researches have converged to the use of agroindustrial residues in the manufacture of new building materials, less polluting and more efficient, and sugarcane bagasse ash has great potential as a partial replacement for Portland cement. This article aims to study several research sources in order to analyze the properties of the concrete with the incorporation of sugarcane bagasse ash, verifying its physical, mechanical and chemical properties. The partial replacement levels studied were: 5, 10, 15, 20 and 25%. The results show that the partial replacement of the Portland cement by sugarcane bagasse ash in the 10% content, with burning temperature to obtain 700 ° C, at a grain size range of 50 µm, has the advantages for concrete making.

Keywords: Sugarcane bagasse ash, Portland cement, pozzolanic activity, partial replacement.

1. Introdução

O concreto é um dos materiais de construção mais utilizados pela sociedade moderna, devido ao crescimento da urbanização e industrialização (APRIANTI et al., 2015). Seu principal constituinte é o cimento Portland. Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2017), o consumo de cimento Portland no Brasil em 2007 foi de 44 milhões de toneladas, dando um salto para 102 milhões de toneladas, em 2017.

Tal crescimento pode ser alarmante, quando verificado que a produção de cimento é uma ação poluidora, contribuinte do efeito estufa. A produção mundial de cimento contabiliza 6% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO₂), onde: 50% desta porcentagem provém da conversão química do calcário (CaCO₃) em óxido de cálcio (CaO); 10% derivam da combustão de combustíveis fósseis durante as operações de produção; e 10% são resultado das emissões referentes a eletricidade consumida para produção e transporte das matérias-

primas (MAGALAR, 2007). Para prevenir que este problema agrave, diversas pesquisas e campanhas têm investigado algum material alternativo que possa reduzir o uso de cimento nas construções (ALI et al., 2017).

Ao mesmo tempo, uma grande quantidade de resíduos agrícolas e industriais, além de outros materiais sólidos, são responsáveis por sérios problemas ambientais, devido ao acúmulo errôneo destes, sem que seja dada uma finalidade correta para os mesmos. Para minimizar e reduzir o impacto negativo da indústria do concreto, que demanda um número gigantesco de matéria prima, o uso de resíduos artificiais como material cimentício, de origem e características adequadas, pode promover a sustentabilidade ambiental (APRIANTI et al., 2015). O controle tecnológico referente ao uso de resíduos industriais na substituição de recursos naturais para a produção de novos materiais, com qualidade comparável aos tradicionais, apresenta uma grande contribuição sustentável e econômica (FILHO et al., 2018). Subprodutos de inúmeros processos industriais são utilizados como material cimentício complementar na produção de concreto e, diversos estudos têm conduzido para a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de concreto, como um substituto parcial do cimento Portland, com resultados relevantes nas propriedades físicas, mecânicas e em seu efeito pozolânico (APRIANTI et al., 2015; ARIF, CLARK & LAKE, 2016; BAHURUDEEN et al., 2014). Estes materiais são interessantes pois não produzem novas emissões de CO₂ (ALI et al., 2017). CBCA (cinza do bagaço da cana-de-açúcar) é o termo usado para o resíduo que sobra após a queima do bagaço da cana-de-açúcar. Grandes quantidades desse subproduto agroindustrial são geradas pela produção de açúcar e etanol, e sua eliminação é um grande problema ambiental (ALMEIDA et al., 2015). Contudo, a CBCA é composta principalmente por sílica amorfa (ARIF, CLARK & LAKE, 2016), e alto teor de óxidos, podendo ser utilizada como material cimentício na produção de concreto (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009).

Visto isso, a importância de se desenvolver concretos onde haja a diminuição do consumo de cimento Portland aliada a incorporação de resíduos oriundos de processos agroindustriais, com potencial pozolânico, resulta em uma linha de pesquisa de suma importância para o desenvolvimento da construção civil, preservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

Este trabalho tem por objetivo analisar e comparar pesquisas relevantes sobre a incorporação de diferentes teores da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial do cimento Portland. O artigo identifica os métodos de obtenção da CBCA e o seu tratamento para que seja utilizada na confecção do concreto, verificando suas propriedades físicas, mecânicas e químicas.

2. Materiais e programa experimental

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foram analisadas diversas fontes bibliográficas afim de que se encontra-se uma similaridade entre os materiais empregados, tornando o processo comparatório o mais próximo do ideal possível. Visto isso, nos trabalhos explorados ocorreram o emprego do cimento Portland, areia e pedra britada, como agregados miúdo e graúdo, respectivamente, superplastificante e água.

2.1 Partícula CBCA

A CBCA é obtida através do processo de queima do bagaço, utilizado como combustível em caldeiras (BAHURUDEEN et al., 2015). Após este processo, as partículas são coletadas e passam por um processo de secagem na estufa a temperatura de 100~105° C por 24 horas. Em seguida, é realizada a caracterização, para que seja empregada na confecção do concreto. Para ser utilizado como um substituto do cimento, as partículas constituintes da CBCA devem ser similares as do cimento (GAR, SURESH & BINDIGANAVILE, 2017). As partículas

possuem uma característica esponjosa, quando a sua queima é abaixo do ponto de fusão da cinza (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009). Analisando microscopicamente, as partículas da cinza possuem formas: prismáticas, esféricas, irregulares e fibrosas, conforme a Figura 1 (BAHURUDEEN & SANTHANAM, 2015). As partículas prismáticas são ricas em silício; as esféricas contêm óxidos de magnésio, potássio e fósforo; as irregulares possuem alto teor de sílica; e as fibrosas são formadas basicamente por carbono. Visto que a CBCA possui angularidade e irregularidade de forma, utiliza-se superplastificantes para manter uma trabalhabilidade adequada (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009).

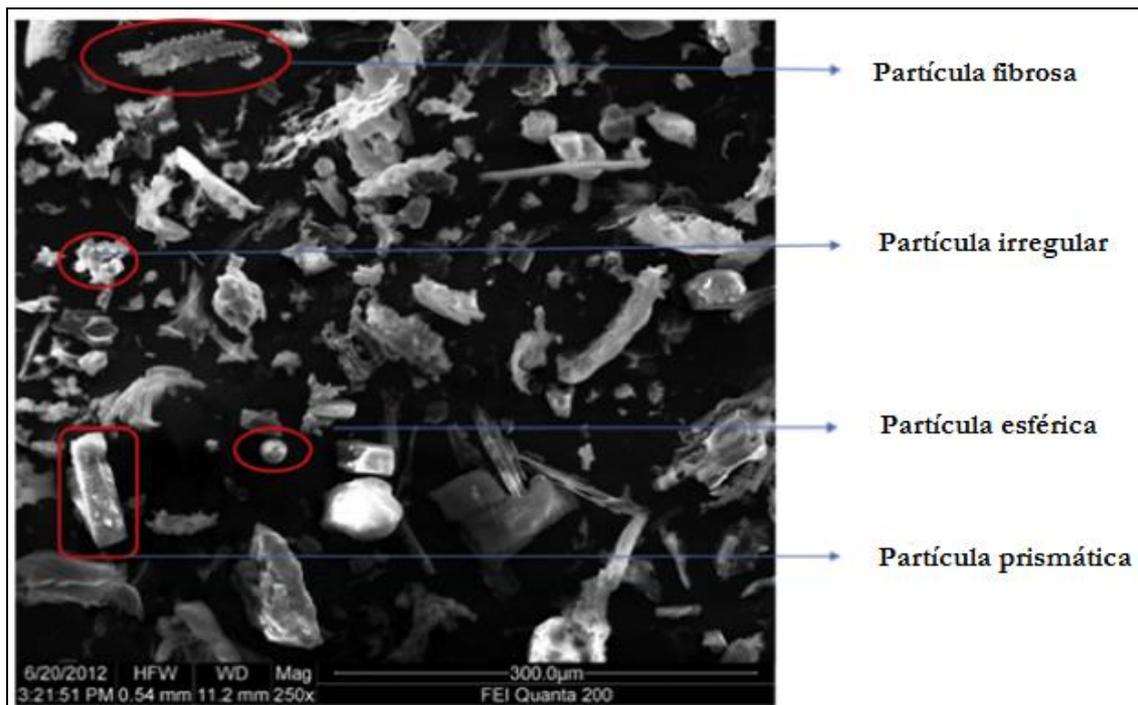


Figura 1. Análise da microestrutura da CBCA (Adaptado de Bahurudeen & Santhanam, 2015).

2.2 Propriedades do concreto

Normalmente a resistência do concreto é considerada a propriedade mais importante, entretanto, em alguns casos, outras características, como durabilidade, impermeabilidade e estabilidade podem ser de fato mais importantes (NEVILLE & BROOKS, 2013).

Outra propriedade de suma importância é a trabalhabilidade do concreto. Neville e Brooks (2013) definem trabalhabilidade como o montante de trabalho interno útil necessário para obtenção do adensamento total do concreto em estado fresco. Neste sentido, quanto maior for o índice de substituição parcial de cimento Portland por CBCA, maior será a demanda de superplastificantes (ALMEIDA et al., 2015).

O concreto pode ser produzido com variados tipos de cimento, podendo ter pozolanas, como cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, adições minerais, agregados de concreto reciclado, aditivos, polímeros e fibras. O cimento Portland é o cimento mais utilizado em obras civis, e sua composição química é definida conforme os limitantes da Tabela 1 (NEVILLE & BROOKS, 2013).

Tabela 1 Limites aproximados da composição do cimento Portland (em óxidos)

Óxido	Teor (%)
CaO	60,0 – 67,0
SiO ₂	17,0 – 25,0
Al ₂ O ₃	3,0 – 8,0
Fe ₂ O ₃	0,5 – 6,0
MgO	0,1 – 4,0
SO ₃	1,0 – 3,0
Álcalis	0,2 – 1,3

Assim como diversas reações químicas, a hidratação dos compostos do cimento é exotérmica, sendo assim, a temperatura do concreto no momento do lançamento é diretamente ligada à sua resistência, visto que, quanto maior for a temperatura, maior será sua resistência inicial, mas menor a resistência em longo prazo. Elementos presentes na composição química do cimento, como C₃A, C₃S e gesso, têm influências significantes quanto as características do calor de hidratação (BAHURUDEEN et al., 2014; BAHURUDEEN et al., 2016), uma vez que a redução de cimento é uma alternativa lógica para a redução do calor de hidratação. O calor de hidratação em concretos com substituição parcial possui uma diminuição considerável quando comparado com à um traço referência (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009). Tal redução pode ser indicada pela presença da partícula do CBCA.

3. Resultados e discussões

3.1 Propriedades físicas do concreto com incorporação de CBCA

A análise das propriedades físicas baseou-se primordialmente na temperatura de obtenção da CBCA, uma vez que esta interfere na composição química da cinza; na granulometria, que afeta no poder de preenchimento dos vazios do concreto e, conseqüentemente, na resistência mecânica; e no peso específico, conforme Tabela 2.

Tabela 2 Propriedades físicas da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Referência	Temperatura de obtenção (° C)	Granulometria (µm)	Peso específico (N/m ³)
Cordeiro, Tavares & Filho, 2016	800	17,20	-
Chusilp, Jaturapitakkul & Kiattikomol, 2009	-	45,00	2,20
Filho et al., 2018	-	150,00	2,64
Bahurudeen & Santhanam, 2015	900	45,00	1,93
	800	45,00	2,03
	700	45,00	2,05
	600	45,00	2,07
Gar, Suresh & Bindiganavile, 2017	-	50,00	-
Arif, Clark & Lake, 2016	-	35,20	1,95
Cordeiro et al., 2009	700-900	60,00	2,53
Cordeiro & Kurtis, 2017	800	29,60	2,53
	400	29,78	-
	500	28,17	-
	600	29,05	-
	700	20,14	-
Cordeiro, Filho & Fairbairn, 2009	800	27,99	-
	300	90,00	-
	Frías, Villar & Savastano, 2011	-	-
	Jimenez-Quero et al., 2013	700	75,00

A CBCA sem tratamento prévio possui atividade pozolânica abaixo do teor mínimo exigido por diversas normas internacionais (ARIF, CLARK & LAKE, 2016; BAHURUDEEN & SANTHANAM, 2015). O processo de peneiramento é sugerido como uma alternativa para aumentar a atividade pozolânica, melhorar a trabalhabilidade e diminuir o teor de perda no fogo, pois diminui a presença de partículas irregulares de CBCA, um dos motivos para diminuição da fluidez do concreto no estado fresco (BAHURUDEEN et al., 2014). O teor de perda no fogo é maior na presença de um alto teor de carbono (BAHURUDEEN et al., 2016), o que demanda um maior consumo de água (ARIF, CLARK & LAKE, 2016), e a execução do peneiramento e, conseqüentemente remoção das partículas fibrosas de carbono aumenta a atividade pozolânica de 69 para 79% (CORDEIRO et al., 2009). A irregularidade na forma e o alto índice de porosidade das partículas de CBCA demandam a necessidade do uso de superplastificantes, para manter a trabalhabilidade ideal (ARIF, CLARK & LAKE, 2016), sendo que o seu comportamento é melhor com a adição de superplastificantes à base de éter policarboxílico, ao invés de superplastificantes à base de naftaleno sulfonado (BAHURUDEEN et al., 2014).

Temperaturas de obtenção da CBCA maiores que 700° C apresentaram a cristalização da cristobalita da partícula, diminuindo a atividade pozolânica (BAHURUDEEN & SANTHANAM, 2015). A temperatura da mistura, apresenta uma diminuição conforme aumenta o teor de substituição parcial do cimento (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009).

Pesquisas provam que a CBCA possui uma área específica aproximadamente três vezes maior do que a do cimento Portland (ALI et al., 2017), o que aumenta o seu volume de pó quando comparado ao do cimento (BAHURUDEEN et al., 2016), demandando mais água na mistura. A partícula CBCA peneirada abaixo de 100 µm, apresenta as melhores propriedades (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009), sendo que a partícula pode ser classificada como material cimentício suplementar com granulometria abaixo de 53 µm.

A CBCA processada pode ser utilizada como um excelente material pozolânico na produção de concreto, alcançando propriedades duráveis e sustentáveis, evitando o seu descarte como um resíduo sem funcionalidade (ARIF, CLARK & LAKE, 2016; CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009; BAHURUDEEN et al., 2016).

3.2 Propriedades mecânicas do concreto com incorporação de CBCA

A resistência a compressão foi analisada, segundo os valores mais relevantes, onde observou-se a substituição parcial de cimento Portland por CBCA nos teores de: 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, conforme a Figura 2.

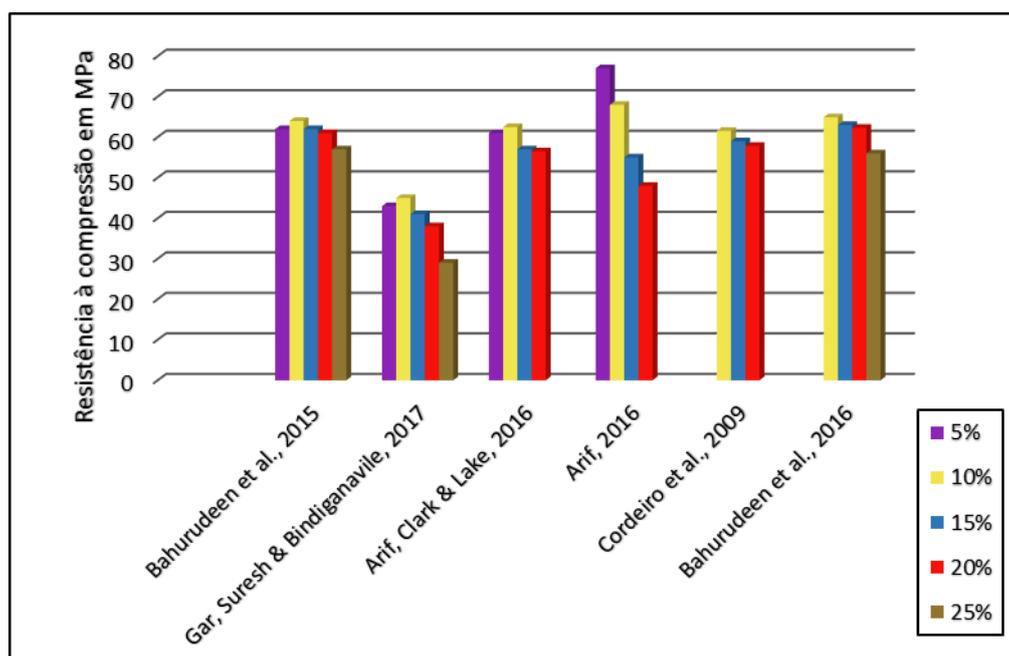


Figura 2. Resultado do ensaio de compressão aos 28 dias.

O concreto com substituição parcial do cimento Portland por CBCA apresenta uma elevada melhora na resistência à compressão aos 3 dias, quando comparado ao traço sem substituição, sendo possível utilizar teores acima de 25% (BAHURUDEEN et al., 2015). Aos 28 e 90 dias este aumento é muito significativo, no teor de substituição parcial de 20% (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009; BAHURUDDEN et al., 2016), com resistência à compressão acima de 40 MPa, com a utilização de superplastificante (ARIF, CLARK & LAKE, 2016). Tal aumento pode ser explicado por dois fatores: por ter uma partícula de dimensão muito pequena, a reação pozolânica da CBCA é mais rápida, resultando em um aumento da resistência à compressão aos 28 dias e; pelo poder de preenchimento dos espaços de ar no concreto, conhecido como efeito de empacotamento (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009).

3.3 Propriedades químicas

A composição química em óxidos da CBCA estudada por diversas pesquisas foi analisada, conforme Tabela 3 e comparada com os teores da composição química do cimento Portland típico (NEVILLE & BROOKS, 2013), conforme Tabela 4.

Tabela 3 Composição química da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (em óxidos).

Ref.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Perda ao fogo
Cordeiro & Kurtis, 2017	80,80	5,10	1,60	3,10	-	6,30	-	1,50	0,30	0,80	0,10	0,40
Almeida et al., 2015	80,20	2,60	5,60	1,80	1,60	4,00	0,20	0,10	1,40	1,40	0,20	0,80
	80,80	2,50	5,80	1,60	1,50	3,90	0,20	0,10	1,30	1,40	0,10	0,70
Bahurudeen et al., 2014	57,63	1,33	1,50	6,14	1,56	7,33	0,22	3,52	-	-	-	21,00
Arif, Clark & Lake, 2016	78,50	7,27	3,85	1,28	1,28	1,41	0,70	1,55	-	-	-	-
Gar, Suresh & Bindiganavile, 2017	69,94	3,34	1,25	2,27	6,68	5,83	1,49	0,42	0,09	6,12	0,06	2,35
Moretti, Nunes & Sales, 2018	91,30	2,30	3,00	0,40	0,20	0,50	-	-	0,90	-	-	1,30
Bahurudeen et al., 2015	75,67	1,52	2,29	6,62	1,87	9,59	0,12	-	-	-	-	5,00
Filho et al., 2018	97,90	0,30	1,20	0,10	-	0,10	-	-	0,30	-	-	0,10
Maldonado-García et al., 2018	56,37	14,61	5,04	2,36	1,43	3,29	1,57	-	-	0,85	-	10,53
Subramaniyan & Sivaraja, 2016	76,67	2,13	3,78	5,59	0,92	8,29	0,12	-	-	-	-	5,00
Arif, 2016	78,50	7,27	3,85	1,28	1,28	1,41	0,70	1,55	-	-	-	-
Cordeiro et al., 2009	78,34	8,55	3,61	2,15	1,65	3,46	0,12	-	-	1,07	0,13	0,42
Cordeiro, Filho & Fairbairn, 2009	60,96	0,09	0,09	5,97	8,65	9,02	0,70	-	-	8,34	0,48	5,70
Jímenez-Quero et al., 2013	56,37	14,61	5,04	2,36	1,43	3,29	1,57	-	0,96	0,85	0,18	10,53
Frías, Villar & Savastano, 2011	69,40	11,26	5,41	2,51	1,28	-	0,09	1,83	1,38	1,61	-	1,56
	55,97	12,44	6,50	0,84	0,48	-	-	1,00	2,67	0,98	-	17,98
	66,61	9,46	10,08	1,43	0,92	-	0,22	0,10	2,44	1,04	-	4,27
Soares et al., 2016	72,30	5,52	10,80	1,57	1,13	-	-	-	3,68	1,11	-	1,52

Tabela 4 Comparação da composição química da CBCA e cimento Portland (em óxidos)

Óxidos	CBCA	Cimento Portland
SiO ₂	55,97% – 97,90%	20,00%
Al ₂ O ₃	0,09% – 14,61%	6,00%
Fe ₂ O ₃	0,09% – 10,80%	3,00%
CaO	0,10% – 6,62%	63,00%
MgO	0,20% – 8,65%	1,50%
K ₂ O	0,10% – 9,59%	1,00%
Na ₂ O	0,09% – 1,57%	1,00%
SO ₃	0,10% – 3,52%	2,00%
TiO ₂	0,09% – 3,68%	0,00%
P ₂ O ₅	0,80% – 8,34%	0,00%
MnO	0,06% – 0,48%	0,00%
Perda ao fogo	0,10% – 21,00%	2,00%

Segundo Arif (2016), a CBCA é classificada como um aluminossilicato devido à presença de sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃). A proporção de dióxido de sílica na CBCA é alta, o que sugere sua configuração como um material pozolânico (CHUSILP, JATURAPITAKKUL & KIATTIKOMOL, 2009).

Na comparação entre os teores de óxidos da CBCA e do cimento Portland, percebe-se que os valores mais relevantes são de SiO₂ e CaO. Na composição química da CBCA, o teor de SiO₂ é muito maior quando comparado ao teor do cimento Portland típico, enquanto o teor de CaO do cimento Portland é muito maior do que da cinza. Tal análise permite concluir que os teores desses óxidos conferem ao cimento Portland suas qualidades específicas, o que inviabiliza a substituição total do mesmo pela CBCA na confecção de concreto.

4 Conclusões

A análise bibliográfica de diversos estudos resultou na verificação das propriedades físicas, mecânicas e químicas do concreto com substituição parcial do cimento Portland por cinza do bagaço da cana-de-açúcar, em teores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%. Verificando o estado fresco e endurecido do concreto e, procurando viabilizar a maior porcentagem possível de substituição, o teor de substituição parcial de 10%, obtido a temperatura de queima de 700° C, peneirado a uma granulometria abaixo de 50 µm possui as melhores vantagens para viabilizar o uso da CBCA na produção de concreto.

5 Referências bibliográficas

- ALL, N.; SOBRI, M. H. A. M.; HADIPRAMANA, J.; SAMAD, A. A. A. & MOHAMAD, N. *Potencial mixture of POFA and SCBA as cement replacement in concrete – A review*. MATEC Web of Conferences. Vol. 103, p.1-8, 2017.
- ALMEIDA, F. C. R.; SALES, A.; MORETTI, J. P. & MENDES, P. C. D. *Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar*. Construction and Building Materials. Vol. 82, p.31-38, 2015.
- APRIANTI, E.; SHAFIGH, P.; BAHRI, S. & FARAHANI, J. N. *Supplementary cementitious materials origin from agricultural waste – A Review*. Construction and Building Materials. Vol. 74, p.176-187, 2015.
- ARIF, E. *Development of value added products from sugarcane boiler ashes: utilization in cements, mortars and concretes*. 155 f. Submission (Master of Science) – Environmental Engineering and Geochemistry. School of Environment, Science and Engineering. Southern Cross University, 2016.

- ARIF, E.; CLARK, M. W. & LAKE, N. *Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production*. Construction and Building Materials. Vol. 128, p.287-297, 2016.
- BAHURUDEEN, A.; KANRAJ, D.; DEV, V. G. & SANTHANAM, M. *Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete*. Cement & Concrete Composites. Vol. 59, p.77-88, 2015.
- BAHURUDEEN, A.; MARCKSON, A. V.; KISHORE, A. & SANTHANAM, M. *Development of sugarcane bagasse ash based Portland pozzolana cement and evaluation of compatibility with superplasticizers*. Construction and Building Materials. Vol. 68, p.465-475, 2014.
- BAHURUDEEN, A. & SANTHANAM, M. *Influence of different processing methods on the pozzolanic performance of sugarcane bagasse ash*. Cement & Concrete Composites. Vol. 56, p.32-45, 2015.
- BAHURUDEEN, A.; WANI, K.; BASIT, M. A. & SANTHANAM, M. *Assesment of pozzolanic performance of sugarcane bagasse ash*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 28, p.1-11, 2016.
- CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. *Consumo anual de cimento*. 2017 (acesso em: 14 de abril de 2018). Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/materiais-de-construcao/cimento>>.
- CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C. & KIATTIKOMOL, K. *Utilization of bagasse ash in concrete*. Construction and Building Materials. Vol. 23, p.3352-2258, 2009.
- CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T. & FAIRBAIRN, E. M. R. *Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash*. Construction and Building Materials. Vol. 23, p.3301-3303, 2009.
- CORDEIRO, G. C.; FILHO, R. D. T.; TAVARES, L. M. & FAIRBAIRN, E. M. R. *Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete*. Cement and Concrete Research. Vol. 39, p.110-115, 2009.
- CORDEIRO, G. C. & KURTIS, K. E. *Effect of mechanical processing on sugar cane bagasse ash pozzolanicity*. Cement and Concrete Research. Vol. 97, p.41-49, 2017.
- CORDEIRO, G. C.; TAVARES, L. M. & FILHO, R. D. T. *Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification*. Cement and Concrete Research. Vol. 89, p.269-275, 2016.
- FILHO, R. G. D. M.; LONGHI, D. A.; SOUZA, R. C. T.; FERRER, M. M.; VANDERLEI, R. D.; PARAÍSO, P. R. & JORGE, L. M. M. *Self-compacting mortar with sugarcane bagasse ash: development of a sustainable alternative for Brazilian civil construction*. Environment, Development and Sustainability. Vol. 20, p.1-19, 2018.
- FRÍAS, M.; VILLAR, E. & SAVASTANO, H. *Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture*. Cement & Concrete Composites. Vol. 33, p.490-496, 2011.
- GAR, P. S.; SURESH, N. & BINDIGANAVILE, V. *Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures*. Construction and Building Materials. Vol. 153, p.929-936, 2017.
- JÍMINEZ-QUERO, V. G.; LEÓN-MARTÍNEZ, F. M.; MONTES-GARCÍA, P.; GAONA-TIBURCIO, C. & CHACÓN-NAVA, J. G. *Influence of sugar-cane bagasse ash and fly ash on the rheological behavior of cement pasts and mortars*. Construction and Building Materials. Vol. 40, p.691-701, 2013.
- MAGALAR, L. *Estudo da emissão de poluentes atmosféricos na indústria cimenteira*. Tese de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- MALDONADO-GARCÍA, M. A.; HERNÁNDEZ-TOLEDO, U. I.; MONTES-GARCÍA, P. & VALDEZ-TAMEZ, P. L. *The influence of untreated sugarcane bagasse ash on the microstructural and mechanical properties of mortars*. Materiales de Construcción. Vol. 68, p.1-13, 2018.
- MORETTI, J. P.; NUNES, S. & SALES, A. *Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash*. Construction and Building Materials. Vol. 172, p.635-649, 2018.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. *Tecnologia do concreto*. Tradução de Ruy Alberto Cremonini, ed. 2, Porto Alegre: Bookman, 2013.
- SOARES, M. M. N. S.; GARCIA, D. C. S.; FIGUEIREDO, R. B.; AGUILAR, M. T. P. & CETLIN, P. R. *Comparing the pozzolanic behavior of sugar cane bagasse ash to amorphous and crystalline SiO₂*. Cement and Concrete Composites. Vol. 71, p.20-25, 2016.

SUBRAMANIYAN, K. S. & SIVARAJA, M. *Assessment of sugarcane bagasse ash concrete on mechanical and durability properties.* Advances in Natural and Applied Sciences. Vol. 10, p.253-260, 2016.