

XVII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação das Construções

XVII Congreso Internacional sobre Patología y Rehabilitación de las Construcciones

XVII International Conference on Pathology and Constructions Rehabilitation

FORTALEZA (Brasil), 3 a 5 de junho de 2021

https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.009

Análise da incorporação de resíduos de cana-de-açúcar em matrizes cimentícias por espectrometria de fluorescência de raios-X e difração de raios-X: uma breve revisão

Analysis of the incorporation of sugarcane residues in cementitious matrices by X-ray fluorescence and X-ray diffraction spectrometry: a brief review

Rafaela Fontana CASANOVA¹, Mateus Arlindo da CRUZ², Aline ZANCHET³

Resumo: Devido a demanda excessiva dos materiais de construção serem cada vez maior em função do crescimento populacional constante e das questões relacionadas as técnicas construtivas, os produtos e até mesmo as matéria-prima visando a sustentabilidade estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano. A busca por tecnologias ambientalmente adequadas, utilizando matéria-prima de fonte renovável e muitas vezes local, veem se difundindo com o passar do tempo. Umas das matérias-primas que vem sendo estudada pelos pesquisadores para o emprego em produtos utilizados na construção civil, é a cinza do bagaço de canade-açúcar (CBC). A CBC é um subproduto oriundo do processo de cogeração de energia elétrica. Este resíduo é composto principalmente por sílica, desta forma, podendo ser reutilizado como agregado e/ou aglomerante em matrizes cimentícias. A presente pesquisa teve como objetivo, verificar por meio da análise bibliográfica, o potencial de aplicação dos resíduos agrícolas (cinza do bagaço de cana-de- açúcar) como matéria prima alternativa de substituição ao aglomerante (cimento Portland), tendo em vista a sua caracterização química. Por meio dos trabalhos analisados foi possível verificar que a utilização do resíduo como matéria prima alternativa em substituição ao cimento se faz uma escolha viável. No entanto observouse que em todos os trabalhos analisados, quando substituído o cimento por uma parcela superior a 20% de CBC no concreto, a resistência da mesma era inferior a encontrada no corpo de prova referência. Pode se inferir que essa queda na resistência do concreto seja devido ao consumo de Portlandita pela fase amorfa da CBC no concreto.

Palavras-chave: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Cimento Portland. Concreto.

Abstract: Due to the excessive demand for construction materials being increasingly greater due to the constant population growth and issues related to construction techniques, products and even raw materials aiming at sustainability, they are increasingly present in our daily lives. The search for environmentally friendly technologies, using raw material from renewable and often local sources, has been spreading over time. One of the raw materials that has been studied by researchers for use in products used in civil construction is the ash from sugar cane bagasse (CBC). CBC is a by-product from the electricity cogeneration process. This residue is mainly composed of silica, so it can be reused as an aggregate and / or binder in cementitious matrices. The present research aimed to verify, through bibliographic analysis, the potential application of agricultural residues (sugarcane bagasse ash), as an alternative raw material to substitute the binder (Portland cement), in view of the its chemical characterization. Through the analyzed works it was possible to verify that the use of waste as an alternative raw material to replace cement is a viable choice. However, it was observed that in all the studies analyzed, when the cement was replaced by a portion greater than 20% of CBC in the concrete, its

Escola Politécnica de Engenharia Civil, IMED, Passo Fundo, RS, Brasil, rafaelafcasanova@hotmail.com
Escola Politécnica de Engenharia Civil, IMED, Passo Fundo, RS, Brasil, mateusArlindo@hotmail.com
Escola Politécnica de Engenharia Civil, IMED, Passo Fundo, RS, Brasil, aline.zanchet@gmail.com

strength was lower than that found in the reference specimen. It can be inferred that this drop in concrete strength is due to the consumption of Portlandite by the amorphous phase of CBC in concrete.

Keywords: Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Cimento Portland. Concreto.

1. Introdução

Na última década houve uma maior demanda de materiais de construção, devido principalmente ao aumento populacional, ficando evidente a necessidade das indústrias da construção civil analisarem os seus processos de obtenção dos produtos. De acordo com Mehta (2010), o setor da construção civil necessita repensar os métodos construtivos, bem como, os produtos utilizados, visando mitigar os efeitos negativos ocasionados pela mesma. De acordo com o autor, a produção do clínquer nas indústrias de concreto é responsável por 90% da emissão de gases poluentes, por isso é muito importante a redução do consumo de cimento Portland na produção de concreto. Tendo em vista a crescente demanda por edificações, é latente a necessidade de uso de materiais alternativos ao cimento Portland.

Uma das maneiras de minimizar esse impacto é o emprego de adições pozolânicas em substituição ao clínquer. De acordo com o Mehta (2010), aproximadamente 50% a 70% da massa que compõem o clínquer presente no cimento Portland é de fonte não renovável (calcário e argila), podendo assim ser substituída por diversas fontes de matéria prima complementares (cinzas volantes, pozolanas naturais e matéria prima de fonte agrícola). A utilização de resíduos provenientes de outros setores da economia pela construção civil se mostra vantajosa, não apenas em virtude de oferecer às empresas um descarte adequado para os subprodutos gerados, mas sobretudo, devido ao fato de reduzir o consumo de matéria-prima não renovável, (SAVASTANO, 2003).

Neste contexto, surgem os subprodutos oriundos da moagem da cana-de-açúcar nas indústrias sucroalcooleiras do país. De acordo com Cordeiro (2006), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e é responsável pela produção de aproximadamente 60% do álcool etílico consumido no planeta. As indústrias sucroalcooleiras do Brasil têm como objetivo principal, a utilização da cana-de-açúcar para a produção de açúcar, tanto para comercializar internamente no país, como também para exportações. Assim como a produção de açúcar, o álcool também é produzido com a finalidade de atender a demanda nacional de combustíveis (ZARDO, 2004).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, no Brasil cerca de 70% de todos os resíduos produzidos pela agroindústria, vem da produção da cana-de-açúcar (BRASIL, 2011). Guedes *et al.* (2010) afirma que a cada mil quilos de cana-de-açúcar utilizada para a produção de álcool, são gerados 280 kg de bagaço e palha da cana como resíduos. Ainda segundo o mesmo autor, a cultura da cana-de-açúcar ao longo dos anos já causouum enorme dano ao meio ambiente, visto que os resíduos eram despejados sem nenhum tipo de controle em locais inadequados. Outro subproduto gerado pela cana-de-açúcar é a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC). A cinza é um subproduto da cogeração de energia produzida por meio da calcinação do bagaço e é considerado um resíduo que apresenta potencial para utilização em argamassas, concretos e cimentos alternativos (geopolímeros), devido à sua pozolanicidade (CORDEIRO *et. al*, 2009).

No entanto, existem alguns pontos negativos para a utilização deste resíduo, dentre os quais está o fato de não ser um material homogêneo. Isso ocorre porque durante a calcinação, a temperatura de queima influência diretamente nas características físicas e químicas das cinzas (FRÍAS *et al.*, 2011). O foco do presente estudo é comparar, por meio de uma revisão bibliográfica, a composição química da cinza do bagaço de canade- açúcar e a influência das diferentes características na produção de compósitos cimentícios.

2. Referencial Teórico

A cana-de-açúcar é uma planta cientificamente denominada Saccharum L., pertencente à classe das monocotiledônias e da família das Gramineae, representada também pelo milho, arroz, sorgo entre outras gramas. Seu cultivo no Brasil ocorreu no período da colonização, em meados do século XVI e logo se tornou indispensável na economia do país (CASTALDELLI, 2013). Segundo Cordeiro (2006), isso ocorreu pela rápida adaptação com o clima tropical, e devido à sua facilidade de emprego, podendo ser utilizada *in natura*, como ração para animais, ou também, na sua forma mais refinada, através da produção de açúcar e álcool.

A cana-de-açúcar é uma das espécies mais cultivadas em todo o mundo. De acordo com o Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Na safra de 2019, a produção deste suprimento foi de cerca de 620,44 milhões de toneladas, tendo como os principais produtores, os estados de São Paulo e Minas Gerais.

Durante o processo de moagem da cana-de-açúcar para a produção de açúcar e álcool, é gerado um subproduto, o bagaço de cana. A quantidade deste material é de aproximadamente 30% da cana moída nas indústrias sucroalcooleiras (SAMPAIO, 2013). Devido à grande quantidade de bagaço que é gerado, as indústrias utilizaram por muitos anos como solução para o descarte a queima do material e, posteriormente, a utilização em áreas de plantio (FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011). Porém, durante as últimas décadas, as agroindústrias sucroalcooleiras do Brasil se diferenciaram dos outros países por trabalhar aspectos positivos e sustentáveis. Além da fabricação do etanol, açúcar e álcool, o bagaço de cana-de-açúcar passou a ser empregado como matéria-prima nas usinas de cogeração de energia para produção de eletricidade. Este emprego contribui de forma positiva com o meio ambiente, através da redução de combustíveis fósseis (FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011).

Quando *in natura*, o bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo sólido composto por lignina e celulose quando, proveniente da extração do caldo da cana-de-açúcar. Sua composição é constituída por 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, 2% a 3% sólidos solúveis em água e 2% a 3% de sólidos insolúveis. Quimicamente a composição do bagaço seco consiste em: 41% de celulose, 25% hemicelulose e 20% lignina (ZARDO, 2004). No Brasil, aproximadamente 95% de todo o bagaço gerado no processo de moagem é queimado em caldeiras para posteriormente gerar vapor. Neste processo de queima do bagaço ocorre a produção da cinza do bagaço de cana-de-açúcar que é composta em sua maior parte por materiais inorgânicos (NUNES *et al.*, 2010).

As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar são oriundas de um processo de geração de energia nos empreendimentos sucro-alcooleiros. Cerca de 10% do total do bagaço queimado se torna cinza. Estas cinzas são utilizadas como adubo nas próprias lavouras de cultivo de cana-de-açúcar, porém, devido à sua difícil degradação, e por não apresentar uma estrutura rica em nutrientes minerais, este resíduo não está sendo mais procurados pelos agricultores (NUNES *et al.* 2010).

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar vem sendo estuda por pesquisadores ao longo dos anos (SOUZA, 2011; FARIA, 2012; SATHIYA, 2010; MARTINS; ALTOÉ 2015; CASTRO; MARTINS, 2016; SOUZA, 2019), para o desenvolvimento de materiais de construção, especialmente devido às suas propriedades físicas e químicas, que se assemelham às cinzas volantes (SOUZA, 2011; FARIA, 2012; SATHIYA, 2010; CASTALDELLI, 2013).

3. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, na medida em que busca na literatura existente, autores que já produziram e registraram acerca do assunto tratado. Será analisado a caracterização química por meio da técnica de fluorescência de raio-X e difração de raio-X da cinza do bagaço de cana-deaçúcar e sua influência nas propriedades das matrizes cimentícias.

A metodologia utilizada para a coleta dos dados foi por meio da base de dados Google acadêmico, utilizando como critério de pesquisa as palavras-chaves: cinza do bagaço de cana-de-açúcar, composição química e

concreto. Foram considerados apenas artigos, dissertações e teses que apresentassem citações acima de 10 e que fossem publicados a partir do ano de 2000.

4. Resultados e Discuções

4.1 Caracteristicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Na Tabela 1 estão apresentados alguns trabalhos da literatura que avaliaram a composição da cinza de bagaço de cana-de-açúcar, onde é possível notar que em todos eles o elemento predominante, é a sílica. Nota-se que os teores de dióxido de silício (SiO₂) variam entre 50% a 84%, em massa, e, também, observar- se a similaridade dos elementos constituintes da cinza da cana-de-açúcar, independentemente do estudo.

Tabela 1 – Comparação da composição química da cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

Composição (% em massa)								
	Cordeiro	Paula	Castaldelli	Frías	Zodinio	Pereir		
Composição de óxidos	(2006)	(2006)	(2013)	(2011)	(2013)	(2014		
SiO ₂	64,64	83,70	51,83	69,40	50,01	78,60		
Al_2O_3	< 0,10	-	26,04	11,26	8,30	4,50		
Fe2O3	0,10	6,537	11,84	5,41	1,96	4,90		
CaO	6,33	1,18	3,03	2,51	5,92	1,30		
Na₂O	0,74	-	0,46	0,09	-	0,20		
K ₂ O	9,57	6,146	2,67	3,45	19,38	2,40		
MnO	0,51	0,081	< 0,10	-	0,23	-		
TiO ₂	< 0,01	1,16	0,87	1,38	0,58	-		
MgO	9,27	-	1,05	1,28	5,55	-		
ВаО	< 0,16	-	-	-	-	-		
P_2O_5	8,84	-	-	1,61	2,46	-		
emperatura de calcinação (ºC)	400 á 900	700	650	800	600	_		

Fonte: Autor (2021).

Percebe-se uma variação dos valores de sílica nas amostras, constata-se que este elemento é o composto predominante em todas as cinzas analisadas, independentemente do local de origem ou espécie cultivada. Cordeiro (2006) relata que a composição química encontrada na cinza do bagaço de cana-de- açúcar utilizada em seu estudo apresenta-se adequada ao emprego como adição mineral, esse fato decorre dos teores relativamente elevados de silício e da perda ao fogo no resíduo. Porém, ressalta que devido à granulometria variável do material se faz necessário um processo de moagem controlada, para que seja possível aumentar a reatividade pelo aumento da superfície específica das partículas.

Segundo Cordeiro (2006), a presença de sílica em grande porcentagem decorre pela adsorção do silício do solo pelas raízes da cana na forma de ácido monossilícico (H₄SIO₄). Após a evaporação da água da planta, a sílica se deposita nas paredes externas das células da epiderme. Segundo Sangster (2001), o silício é depositado em forma laminar nas paredes e apresenta-se na forma amorfa. Ainda, de acordo com Cordeiro (2006), outra fonte importante de sílica é a areia (quartzo), presente na amostra pelo processo de colheita.

De acordo com Castaldelli (2013), as propriedades químicas, mineralógicas e morfológicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar influenciam significativamente as propriedades químicas e mecânicas dos concretos e argamassas.

Macedo (2009) relata que as diferentes porcentagens de teores de sílica da cinza do bagaço de cana-deaçúcar não influenciam significativamente na resistência, no entanto as diferenças mineralógicas na forma de sílica (amorfa ou cristalina) influenciam.

Segundo Castaldelli (2013), as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar têm sua estrutura cristalina, em virtude da contaminação de quartzo no processo de colheita da cinza. O quartzo na cinza pode ser removido através de um processo de lavagem do bagaço antes da calcinação. Na Figura 2 é apresentado um difratograma de raios-x (DRX) de uma amostra de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (Figura 2 (a) CBC lavada, (b) CBC não lavada).

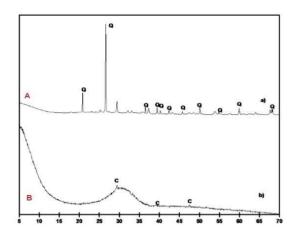


Figura 2 – DRX realizadas em cinzas do bagaço da cana-de-açúcar.

Fonte: Castaldelli (2013).

Segundo Nobre (2017), a cinza com maior índice de amorfismo é gerada quando o bagaço da cana-de- açúcar é calcinado em temperatura de 600°C durante um período de 6 horas. Segundo o autor, para cinzas geradas sob as condições supracitadas, o grau de amorfismo fica em 80,50%, já o grau de cristalinidade fica aproximadamente em torno de 19,50%.

4.2 – Incorporações da cinza do bagaço de cana-de-açúcar em matrizes cimentícias

De acordo com Arif, Clark e Lake (2017), a utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na composição da matriz cimentícia melhora a resistência à compressão e, também, a durabilidade do concreto. Esta melhora decorre do fato de a cinza preencher os vazios entre o agregado e a pasta cimentícia e, desta forma, proporcionar ao concreto uma maior densidade. O autor relata também que a incorporação do resíduo no concreto aumenta as reações de hidratação do cimento, e desta forma, pode aumentar indiretamente a reação do silicato de cálcio hidratado (C-S-H) do concreto bem como, melhorar a trabalhabilidade da pasta cimentícia.

Neto et al. (2018) estudou a utilização de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar calcinadas por uma indústria sucroenergética do estado do Paraná, na incorporação em concretos, em substituições de 0 a 50% do valor da massa do cimento. Nessa pesquisa, o autor coletou o resíduo da indústria e aplicou diretamente no concreto, tendo verificado maior consistência e diminuição dos seus vazios em todas as misturas.

Segundo Cordeiro e Fairbairn (2009), os tamanhos das partículas das cinzas dos resíduos de cana-de-açúcar influenciam de forma significativa na reatividade pozolânica do material, porém a temperatura de calcinação não tem ligação direta com o tamanho da partícula do material calcinado. Neste contexto, Paula (2006), destaca que quanto menor a partícula, maior será a sua área superficial e maior será a sua atividade

pozolânica, logo, teoricamente maior será a resistência mecânica dos compostos produzidos com esses resíduos.

Nobre (2017) destaca que a quantidade de cinza do bagaço de cana-de-açúcar a substituir o cimento Portland deve ser cuidadosamente analisada. Com uso de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), no concreto há uma redução da quantidade de portlandita disponível em virtude do consumo da mesma pela fase amorfa da CBC. Nobre (2017) destaca ainda, que em pastas cimentícias com teores de substituição de cimento Portland entre 35% a 70% por CBC verificou-se, por meio de difração de raio-x que há o consumo de toda a portlandita. Logo, quando são utilizados altos teores de CBC em concretos, um consumo excessivo de portlandita, é propiciado e, consequentemente, a disponibilidade da mesma para reações pozolânicas sofre uma queda. O autor ressalva que, o uso de CBC em um teor de até 20% não provoca redução de portlandita na matriz cimentícia, porém, o que ocorre em teores acima de 35% alterando a distribuição de poros. Essa alteração provoca um aumento da susceptibilidade da matriz à carbonatação.

Neste sentido, a Tabela 2 apresenta estudos que utilizaram a CBC em substituição ao cimento Portland para produção de matrizes cimentícias. O intuito da tabela é comparar os trabalhos realizados pelos autores da área e desta forma verificar as resistências encontradas quando substituído o aglomerante, pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Adotou-se como base a resistência de 100% para os concretos referência (sem substituição do cimento). Nos casos em que a substituição de cimento Portland por CBC resultou em um ganho de resistência, este valor foi transformado em porcentagem e somado aos 100% da resistência do concreto referência. Nos casos em que a substituição de cimento Portland por CBC resultou em uma perda de resistência, esta perda foi transformada em porcentagem e descontada dos 100% da resistência do concreto referência.

Tabela 2 – Uso de CBC em matrizes cimentícias.

Autor	Moagem	Temperatura de	Cimento	(%) de	(%) Resistência	Clarana
		calcinação	Utilizado	substituição	(28 Dias)	Slump
GORGES <i>et al.</i> (2019)		600ºC	CP V ARI	0	100%	26,8 cm
	Moinho			5	101,16%	26,9 cm
	de bolas			10	100,77%	27,9 cm
				20	111,52%	27,3 cm
Neto (2018)		400°C	CPII – E 32	0	100%	11,6 cm
				10	116%	11,3 cm
	-			20	83,33%	10,8 cm
				50	41%	10 cm
Teodoro <i>et al.</i> (2013)		-	CPII-F 32	0	100%	8 cm
	Moinho			5	98,46%	9 cm
	de bolas			10	74,62%	9 cm
				15	65,00%	7,5 cm
Silveira (2010)		-	CP V ARI	0	100,00%	14,5 cm
	Moinho			5	89,92%	12,8 cm
	de bolas			10	94,81%	11 cm
				20	96,62%	7,5 cm
Nunes (2009)	-	500°C a 700°C	CPII-F 32	0	100%	7cm

100,61%	10,50cm	
102,44%	7,5cm	
107,93%	6,5cm	
105,49%	8,5cm	
106,10%	6cm	
84,15%	5,5cm	
71,65%	5cm	
	102,44% 107,93% 105,49% 106,10% 84,15%	

Fonte: Autor (2021).

Por meio da Tabela 2, é possível verificar que com porcentagens superiores a 15% de substituição de cimento Portland por CBC, ocasionou em uma baixa da resistência a compressão (NETO, 2018; NUNES, 2009). Estes dados corroboram com os dados encontrados por Nobre *et al.* (2017), que indicam que porcentagens de substituição superiores a 15% ocasionam em um maior consumo de Portlandita disponível na matriz.

Ainda é possível verificar que em porcentagens inferiores a 15% de substituição, os concretos produzidos tenderam a ter um ganho de resistência a compressão simples (GORGES *et al.* 2019; NETO, 2018; NUNES, 2009). Em relação a consistência dos concretos, as substituições de cimento Portland por CBC tenderam a sofrer um leve aumento em sua consistência (NETO, 2018; TEODORO *et al.*, 2013; SILVEIRA, 2010, NUNES, 2009).

5. Conclusões

Por meio da pesquisa bibliográfica realizada no presente estudo, foi possível verificar que a utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial ao cimento é uma alternativa tecnicamente viável. No entanto, em todos os trabalhos analisados nesta pesquisa, pode-se inferir que a substituição do cimento pelo resíduo, não se torna interessante quando se refere a resistência do produto final em porcentagens de substituição que excedam 15 % de cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Cordeiro *et al.* (2009), relata em sua pesquisa que a adição de CBC em substituição ao cimento pode melhorar as propriedades de durabilidade do concreto e não alterar as suas propriedades mecânicas.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- ARIF, Elisabeth; CLARK, Malcolm W.; LAKE, Neal. Sugar cane bagasse ash from a high-efficiency co-generation boiler as filler in concrete. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 151, p. 692-703, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.136.
- BRASIL, GOVERNO FEDERAL. (Org.). Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Versão preliminar para consulta. Brasília, 2011. 102 p. Acessado em 20 de maio de 2020.
- CASTALDELLI, Vinicius Nobre. Estudo de geopolímeros utilizando cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteria, 2013. 87 f. Disponível em: http://hdl.handle.net/11449/111146.
- CASTRO, Tainara Rigotti de; MARTINS, Carlos Humberto. CARACTERIZAÇÃO DAS CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS. **Mix**

- **Sustentável**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 12, 3 maio 2016. Mix Sustentável. http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.mix2016.v2.n1.12-19.
- CINCOTTO, M. A. Selection of wate materials with pozzolanic activity. In: International Conference on Development of Low-Cost na Energy Saving Constrution Materials Proceedings. Rio de Janeiro, v 1, p 287-297, 1984.
- CORDEIRO, G. C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios. Química Nova, [s.l.], v. 32, n. 1, p.82-86, 2009. Fap UNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000100016.
- FAO Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação. Statistics. Disponível em: http://www.fao.org/statistics/en/. Acesso em: 14 maio de 2020.
- FARIA, K. C. P., GURGEL R. F., HOLANDA, J. N. F. Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. Journal of environmental management, v.101, n.30, p.7-12, 2012.
- FERNANDES-FILHO, P. Utilização da cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar na produção de materiais cimentícios alcalinamente ativados. 2012. 218 f. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/13980. Acesso em: 18 Dez.2019
- FRÍAS, Moisés; VILLAR, Ernesto; SAVASTANO, Holmer. Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 33, n. 4, p.490-496, abr. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp. 2011.
- GORGES, G. C; WEDEKID, J. P; SOUSA, T.B. Substituição parcial do cimento Portland por cinza do bagaço de cana-de-açúcar em argamassa. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Palmas, Tocantis. 2019.
- GUEDES, C. L. B., ADÃO, D. C., QUESSADA, T. P., BORSATO, D., GALÃO, O. F. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. Química Nova, v.33, n.4, p.781-786, 2010.
- MARTINS, Carlos Humberto; ALTOÉ, Silvia Paula Sossai. Avaliação da Utilização da Cinza de Bagaço de Canade-Açúcar na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s.l.], v. 8, n. p. 39, 20 maio 2015. Centro Universitario de Maringa. http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8ned.esp.p39-54.
- MEHTA, P. Kumar. Sustainable cements and concrete for the climate change era-a review. In: Proceedings of the Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Aneona, Italy. 2010. p. 28-30.
- NETO *et al*, J. G. V.; Incorporação da cinza do bagaço de cana-de-açúcar sem moagem no concreto em diferentes dosagens. Revista Acta Iguazu. V.7, n.4, 2018.
- NOBRE, T.R.S. Estudo do efeito de altos teores de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA) em pastas cimentícias: análise por DRX. VIII Encontro científico de Física Aplicada, 2017.
- NUNES, I. H. S.; VANDERLEI, R.D; SECCHI, M.; & ABE, M.A.P. Estudo das características físicas e químicas da cinza de bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. Revista Tecnológica. V.17, n.1, p.39-48, 2010.
- PAULA, M.D. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v 13, n.3, 2006.
- SAMPAIO, Zodínio Laurisa Monteiro. Análise do comportamento mecânico de concretos produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar de variedades SP911049, RB92579 e SP816949. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.
- SANGSTER, A. G. et al., 2001. Silicion deposition in higher plants. In: Silicon in agriculture, Amsterdam.

- SATHIYA, K. Experimental study on bagasse ash in concrete. International jornal for servisse learning in engineering, v.5, n.2, 2010.
- SAVASTANO, Jr., Warden, P. G. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. Cement & Concrete Composites, v.25, n.5, p.517-624, 2003.
- SILVEIRA. Daniel Antônio. Influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço de canade-açúcar (CBC) residual no concreto. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia Goiás. 2010.
- SOUZA, A. E., TEIXEIRA S. R., SANTOS, G. T. A., COSTA, F. B., LONGO, E. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. Journal of environmental management, v.92, n.10, p.2774-2780, 2011.
- SOUZA, Luana Ely Farias de. Influência da Utilização do poliestireno expandido e das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar na fabricação do concreto leve. 2019. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Doutorados, MS, 2019.
- TEODORO, P. E., FERREIRA, M. H. Q., CHARBEL, D. D. S., NEIVOCK, M. P., & FORMAGINI, S. (2013). Comportamento físico-mecânico do concreto com substituição de cimento portland por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. REEC Revista Eletrônica De Engenharia Civil.https://doi.org/10.5216/reec.v6i2.22022
- ZARDO, A. M. Utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como "filler" em compostos de fibrocimento. I ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO SISTENTÁVEL. Anais. São Paulo, 2004.