

Incorporação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em placas cerâmicas e avaliação das propriedades mecânicas e tecnológicas

(Incorporation of ash from sugarcane bagasse into ceramic plates and evaluation of mechanical and technological properties)

B. C. Barreto¹; R. M. P. B. Oliveira¹

¹ Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe
Av. Marechal Rondon, s/n, CEP: 49100-000, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão/SE
brendonbarreto2013@gmail.com

Resumo

A cana-de-açúcar apresenta grande importância na indústria sulcroalcooleira e no cenário nacional devido a elevada produção, porém durante seu processamento gera grande quantidade de bagaço de cana-de-açúcar. Outro setor de destaque no Brasil é a indústria cerâmica que utiliza grandes quantidades de matérias-primas naturais e permite que diversos resíduos industriais sejam incorporados à massa. Este trabalho visa adicionar cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) à massa cerâmica industrial para obtenção de placas de revestimento e avaliar seus efeitos nas propriedades mecânicas e tecnológicas do produto. Foram produzidos corpos de prova por prensagem uniaxial com dimensões de 62x22x7 mm e a sinterização foi realizada em 1150°C. As matérias primas foram caracterizadas por fluorescência e difração de raios-X, os corpos de prova sinterizados foram caracterizados por ensaios tecnológicos e mecânico. Os resultados mostraram que a CBC é um material constituído essencialmente por SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃ e pelas fases quartzo e cristobalita.

Palavras chave: CBC, placa cerâmica, propriedades tecnológicas, coproduto

Abstract

Sugarcane is of great importance in the sulco-ethanol industry and in the national scenario due to high production, but during processing it generates large amounts of sugarcane bagasse. Another important sector in Brasil is the ceramic industry that uses large quantities of natural raw materials and allows various industrial residues to be incorporated into the clay mass. This work aims to add ash from sugarcane bagasse (SCBA) to the industrial ceramic mass to obtain coating plates and evaluate its effects on the mechanical and technological properties of the product. Test pieces were produced by uniaxial pressing with dimensions of 62x72x7 mm and sintering was performed at 1150 ° C. The raw materials were characterized by fluorescence and X-ray diffraction, the sintered pieces were characterized by technological and mechanical tests. The results showed that the SCBA is a material consisting essentially of SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃ and the crystalline phases quartz and cristobalite.

Keywords: SCBA, ceramic plate, technological properties, coproduct

INTRODUÇÃO

O excesso de geração de resíduos sólidos industriais, o descarte inadequado e os efeitos destes no ambiente geram alerta para a necessidade de manutenção do meio ambiente sustentável. O reaproveitamento de resíduos na fabricação de produtos torna-se uma opção viável desde que não haja perda significativa de propriedades e de qualidade dos produtos.

A cana-de-açúcar tornou-se uma das grandes alternativas no setor de biocombustíveis por apresentar elevada capacidade na produção de etanol e subprodutos. Além disso, outro ponto favorável para o aumento da produção é o esgotamento das jazidas petrolíferas e o custo elevado de extração de petróleo. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, na safra de 2017/18, a produção foi de 633,26 milhões de toneladas. De acordo com o 2º levantamento da safra de cana-de-açúcar 2018/2019 da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) a produção total de cana está estimada atualmente em 635,51 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 0,4% em relação à safra 2017/2018. Este setor industrial apresenta grande importância para o agronegócio e a economia do país. Destaca-se que no Estado de Sergipe a estimativa de produção de cana é de 2,048 milhões de toneladas, o que representa um aumento de cerca de 19,2% em relação à safra anterior [1].

Na moderna agroindústria sucroalcooleira, o processo de obtenção de etanol e açúcar produzem elevada quantidade de bagaço de cana-de-açúcar. Especificamente no Brasil, são geradas 4,6 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar. Este bagaço pode ser utilizado de diversas formas, porém a de maior destaque é a cogeração de energia elétrica que envolve a queima do bagaço em caldeiras a altas temperaturas e produz vasta quantidade de resíduos sólidos, geralmente conhecido como cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), cuja disposição, na maioria dos casos, não atende aos requisitos ambientais legais, de maneira que podem acarretar danos ao ambiente. A cinza gerada contém alta quantidade de óxido de silício (SiO_2) e pequenas quantidades de óxido de ferro, alumínio, cálcio e magnésio. Estima-se que o Brasil gere 1,2 milhões de toneladas de CBC por ano, este valor ainda crescerá com o aumento da produção da nova safra de cana-de-açúcar [1, 2]. Assim, surge a necessidade de reutilizar as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e verificar sua viabilidade para tornar-se um coproduto.

Outro setor que possui grande importância na economia do país é a indústria cerâmica e esta é reconhecida por utilizar grandes quantidades de matérias-primas naturais, em especial a indústria de revestimento cerâmico que é a segunda maior produção mundial com cerca de 790 milhões de m^2 [3]. As massas utilizadas no processamento comumente são heterogêneas e são formadas por matérias-primas com larga faixa composicional e por isso, permitem que diversos

resíduos industriais sejam incorporados à massa. Além disso, a indústria cerâmica apresenta uma série de problemas ambientais, tais como extração e consumo de matérias primas: argila, água, lenha, rejeitos de produção, produtos defeituosos e emissões gasosas, oriundas da queima, bem como problemas de qualidade dos produtos [4].

Portanto, a incorporação de resíduos em cerâmicas envolve: reaproveitamento de resíduos, evitando à disposição em aterros e a poluição; menor consumo de matéria-prima à base de argila; possibilidade de pouca alteração nas propriedades finais do produto e atender requisitos mínimos obrigatórios contidos em normas de especificação.

Vários estudos encontrados na literatura utilizaram as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e comprovaram a viabilidade de substituição parcial de matéria-prima no processamento de blocos, telhas, cimentos e concretos [2, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Dessa forma, uma solução para as questões mencionadas é a incorporação de cinzas de bagaço da cana-de-açúcar como uma nova alternativa de matérias-primas na produção de placas de revestimento cerâmico e transformá-las em produto de valor comercial agregado.

Neste trabalho, a adição de CBC no processo de obtenção de placas de revestimento cerâmico tem como objetivo o estudo de seu uso em substituição parcial à matéria-prima argilosa e seus efeitos nas propriedades mecânicas e tecnológicas do produto a fim de atender as exigências normativas, diminuir os impactos ambientais e defeitos associados ao processamento e estabelecer o resíduo como coproduto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizada uma massa argilosa proveniente de indústria de fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados na cidade de Nossa Senhora do Socorro no Estado de Sergipe e cinza de bagaço de cana-de-açúcar resultante da queima do bagaço em uma indústria de processamento de álcool e açúcar na cidade de Laranjeiras no Estado de Sergipe. A cinza foi calcinada à 800 °C durante o processo de cogeração de energia.

A massa argilosa industrial como recebida foi colocada em estufa durante 24 horas à temperatura de 100° C para remover a umidade. Em seguida, foi submetida a etapa de beneficiamento para a realização de moagem em moinho de bolas durante 18 horas. A massa utilizada na caracterização e confecção dos corpos de prova foi a passante na peneira 200 mesh. A cinza de bagaço de cana-de-açúcar como recebida foi sujeita às etapas de lavagem para eliminar impurezas indesejáveis, secagem em estufa durante 24 horas à 100° C e passagem em peneira de 65 mesh.

Dessa forma, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar foi incorporada na massa argilosa nas proporções exibidas na Tabela I.

Tabela I: Formulação de massa argilosa industrial com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar (% em peso).

Formulação	C0 (%)	C5 (%)	C7,5 (%)	C10 (%)
CBC	-	5	7,5	10
Massa Industrial	100	95	92,5	90

C0- massa industrial argilosa sem CBC; C5- massa industrial argilosa com adição de 5% de CBC; C7,5- massa industrial argilosa com adição de 7,5% de CBC; C10- massa industrial argilosa com adição de 10% de CBC.

As matérias-primas foram caracterizadas por Espectrometria de Fluorescência de raios X (FRX), Difratomia de raios X (DRX) para obter a composição química e fases cristalinas, respectivamente. Para obtenção dos corpos de prova inicialmente realizou-se a etapa de secagem das matérias-primas em estufa à 100° C durante 24 horas, seguida da mistura da CBC na massa argilosa feita em um moinho giratório no decorrer de 10 minutos. A granulação foi realizada manualmente através da adição de 8% (% em peso) de água e peneiramento das massas, de modo que o material passante foi estocado em recipiente fechado por um período de 24 horas. Posteriormente foram produzidos os corpos de prova via prensagem uniaxial em prensa hidráulica MARCON MPH-15, utilizando matriz metálica com dimensões de 62x22x7 mm, massa padrão de 22 g e tensão de conformação de aproximadamente 29 MPa, sendo produzidos 5 corpos de prova para cada formulação. Foi realizada secagem para eliminar dos corpos de prova verde a água de conformação. A sinterização foi realizada em forno mufla JUNG 7013 na temperatura de 1150°C, razão de aquecimento de 10° C/min e patamar de 30 minutos.

Os protótipos sinterizados foram caracterizados tecnologicamente por retração linear (RL), massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA). A resistência mecânica foi determinada pelo ensaio de flexão em três pontos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química dos materiais estudados neste trabalho é exibida na Tabela II. A cinza de bagaço de cana-de-açúcar é constituída principalmente por SiO₂ e Al₂O₃, além de apresentar quantidades significativas de K₂O, Fe₂O₃, CaO, MgO e P₂O₅. Verifica-se ainda a presença de quantidades pequenas de TiO₂, Na₂O, SO₃, ZrO₂, ZnO e SrO. O teor elevado de SiO₂ está relacionado com a fase cristalina quartzo, assim, quando a cinza é adicionada em uma massa argilosa, o elevado teor de SiO₂ afeta diretamente a plasticidade e facilita a etapa

de secagem, já na etapa de queima a maior parte de quartzo na massa pode atuar como inerte e pode gerar microfissuras durante o resfriamento devido a sua transformação alotrópica que ocorre em temperaturas em torno de 573°C [11]. O fósforo, o potássio, o cálcio, o magnésio e os elementos em menores quantidades na cinza são elementos que a cana de açúcar retira do solo. O teor relativamente elevado de K₂O na cinza pode contribuir para melhorar as propriedades de queima através da redução da porosidade pela formação de fase líquida em reação com SiO₂ e Al₂O₃, resultando, portanto, em uma densificação com diminuição do volume total do produto cerâmico. A composição química da massa industrial argilosa revela que os seus principais constituintes são SiO₂ e Al₂O₃ com percentual de 57,03 e 17,99%, respectivamente, estes dois óxidos são os componentes majoritários da estrutura dos argilominerais e são os constituintes principais das fases formadas durante a sinterização [2].

O Fe₂O₃ é o principal óxido responsável pela coloração avermelhada das peças após a sinterização, portanto, a adição de CBC como substituição parcial de argila mantém a quantidade deste óxido em teores pertinentes que permitirá ao produto final apresentar cor vermelha.

Tabela II- Composição química da massa industrial argilosa e da CBC.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	ZrO ₂	SrO	P ₂ O ₅	MnO	ZnO
Massa Arg.	57,03	17,99	7,64	8,07	2,85	1,02	3,56	0,99	0,76	0,04	0,02	-	-	-
CBC	73,52	9,41	3,72	3,24	2,12	0,39	4,88	0,60	0,31	0,03	0,01	1,65	0,07	0,03

As Figura 1 e 2 a seguir, apresentam os difratogramas de raios X da massa argilosa e da cinza de bagaço de cana-de-açúcar. A massa industrial argilosa (Figura 1) apresenta picos de difração correspondente as fases quartzo, calcita, montmorilonita e ilita. O quartzo (SiO₂) é um mineral geralmente encontrado nas argilas e é considerado como uma impureza e atua como um material inerte não plástico no sistema água/argila. O argilomineral ilita encontrado na massa argilosa favorece a conformação na etapa de prensagem e proporciona a densificação dos corpos cerâmicos a verde, além de propiciar os óxidos Na₂O e K₂O que atuam como fundentes e implicam na sinterização da argila por intermédio da formação de fase líquida [12]. Ressalta-se que os picos encontrados referentes ao argilomineral montmorilonita, necessitam de confirmação através da saturação em etileno glicol e calcinação, pois os picos deste podem sobrepor a outros e dificultar a interpretação dos dados. O argilomineral calcita (CaCO₃) pode atuar como fundente e é geralmente encontrado na maioria das argilas utilizadas para a fabricação de revestimento cerâmico tipo BIIb no Estado de Sergipe [13]. A cinza de bagaço

de cana-de-açúcar possui o quartzo como principal fase cristalina e está relacionado com uma provável contaminação das cinzas com partículas do solo, este atua reduzindo a plasticidade e como matéria-prima inerte na etapa de queima. As outras fases cristalinas constituintes da CBC são mulita, cristobalita, fosfato de cálcio, hematita e carbonato de potássio. O carbonato de potássio é um composto geralmente encontrado em cinzas vegetais, a mulita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) apresenta alto ponto de fusão, a hematita (Fe_2O_3) é a responsável por garantir a coloração avermelhada do corpo cerâmico após a queima e apresenta comportamento refratário, o fosfato de cálcio ($Ca_3(PO_4)_2$) é aplicado como fertilizante e apresenta a característica de fundir-se a altas temperaturas e a cristobalita geralmente é formada em altas temperaturas, cerca de $1470^\circ C$, porém, pode ser formada em temperaturas mais baixas quando o material apresenta elevado teor de SiO_2 como é o caso da cinza de bagaço de cana-de-açúcar estudada [7].

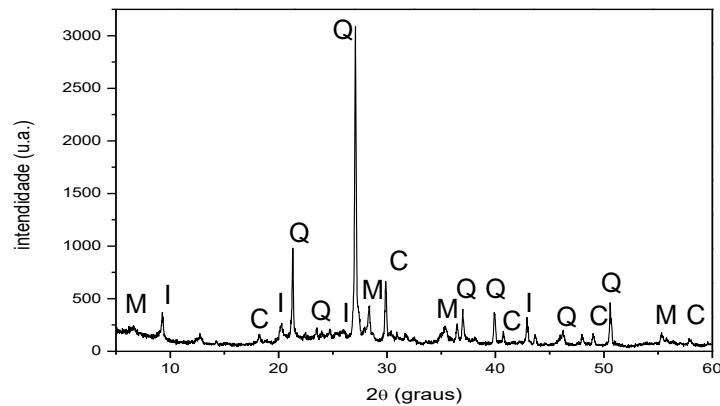


Figura 1- Difratoograma de raios-X da massa industrial argilosa.
M = montmorilonita; I = ilita; C = calcita; Q= quartzo

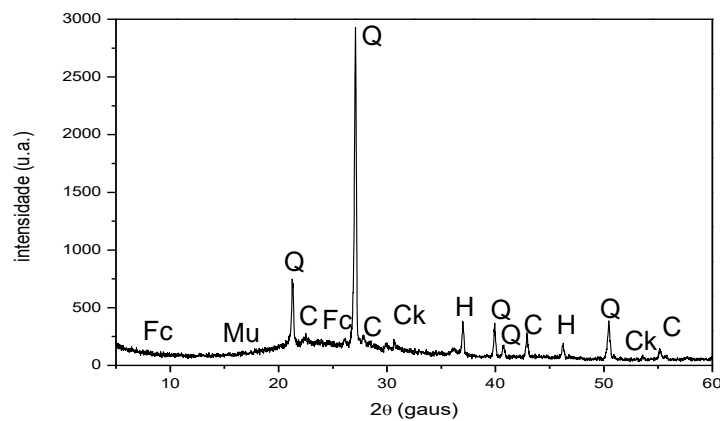


Figura 2- Difratoograma da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Mu = mulita; Q = quartzo; C = cristobalita; Fc: fosfato de cálcio; H= hematita; Ck= carbonato de potássio

A Figura 3 apresenta os valores médios de retração linear dos corpos de prova sinterizados 1150°C em função do teor de cinza adicionada na massa cerâmica. A retração linear dos corpos de provas está associada à densificação à medida que ocorre a sinterização e o alto valor de retração linear deve-se à alta temperatura de queima, pois a temperatura utilizada contribui para o fechamento dos poros devido a formação de fase vítrea, conforme verificado através da análise química e mineralógica que os elementos químicos e as fases presentes possuem compostos que atuam como fundentes e favorecem a formação da fase vítrea. Ressalta-se ainda que, a incorporação de cinza na massa cerâmica contribuiu para reduzir o valor de retração, pois a mesma atua no sentido de diminuir a plasticidade e consequentemente a retração. As massas com 5 e 7,5% (% em peso) apresentaram praticamente a mesma retração.

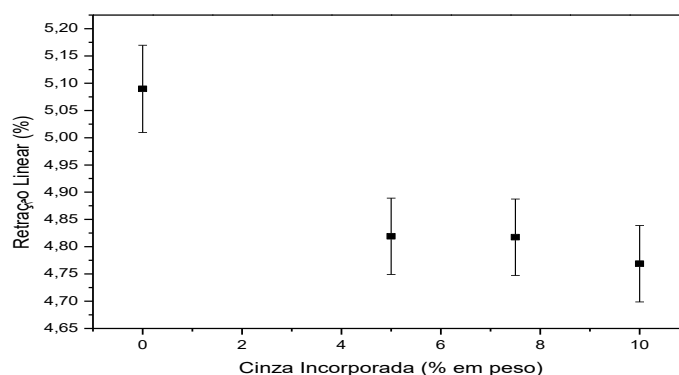


Figura 3- Retração linear dos corpos de prova queimados à 1150°C em função da adição de CBC.

A Figura 4 apresenta os valores médios de massa específica aparente e observa-se uma diminuição da massa específica aparente à medida que o teor de cinza aumenta gradualmente. Isto ocorre porque os corpos de prova contendo a CBC são menos densos, em razão do resíduo promover uma redução no grau de empacotamento e assim, diminui a densificação dos protótipos. Além disso, durante a sinterização ocorre aumento quantidade de gás gerado e o aprisionamento destes gases no interior corpo cerâmico provoca uma diminuição da massa específica, pois estes gases não conseguem sair em virtude do fechamento da porosidade aberta e da alta vitrificação na parte externa do corpo de prova.

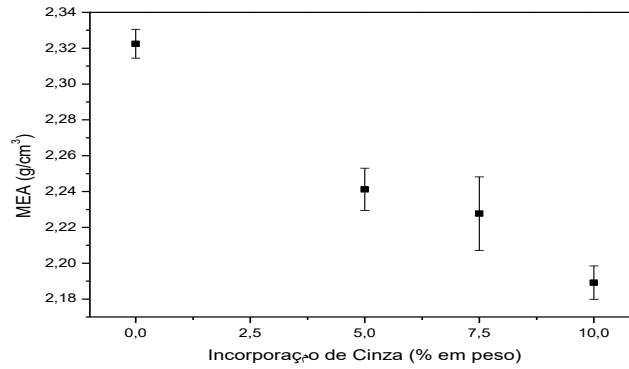


Figura 4- Massa específica aparente dos corpos de prova queimados à 1150°C em função da incorporação de CBC.

A Figura 5 mostra os resultados da porosidade aparente que está relacionada com a quantidade de poros que se formam durante a queima. O baixo valor de porosidade aparente pode ser explicado através da alta temperatura de queima realizada neste trabalho que provocou alta densificação dos corpos e conseqüentemente a redução dos poros.

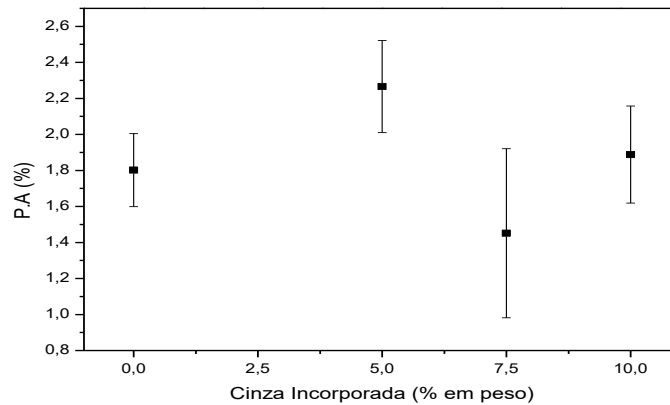


Figura 5- Porosidade aparente dos corpos de prova em função do teor de CBC.

Os valores de absorção de água (AA) são apresentados na Figura 6. Como a absorção de água é uma propriedade física que está diretamente ligada a porosidade aberta e a microestrutura do material sinterizado, constata-se que a adição de CBC provocou aumento da absorção de água, porém estes valores são baixos e portanto, os corpos de prova sinterizados à 1150° e com adição de cinzas de até 10% (% em peso) são classificados como revestimento grês tipo B1b.

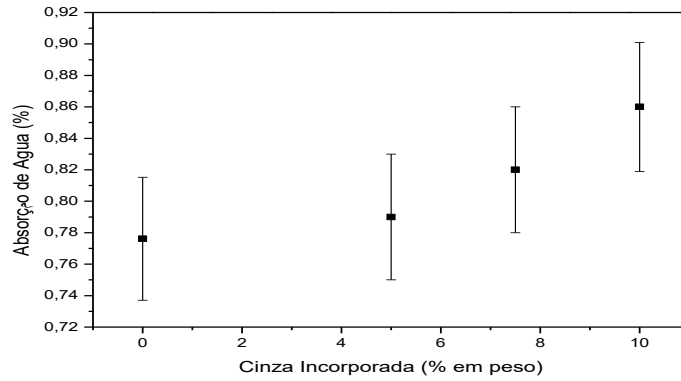


Figura 6- Absorção de água dos protótipos em função do teor de CBC.

A resistência à flexão dos corpos de prova mostrada na Figura 7 é reduzida à medida em que houve o incremento no teor de cinza na formulação da massa argilosa. A explicação para essa redução está relacionada a presença do quartzo, que contribui para diminuir os valores de resistência à flexão, visto que a massa específica aparente diminui com o aumento do teor de cinza, pois o aprisionamento de gases no interior dos corpos cerâmicos diminui a MEA, aumenta o volume do corpo sinterizado, reduz sua massa e conseqüentemente a resistência mecânica.

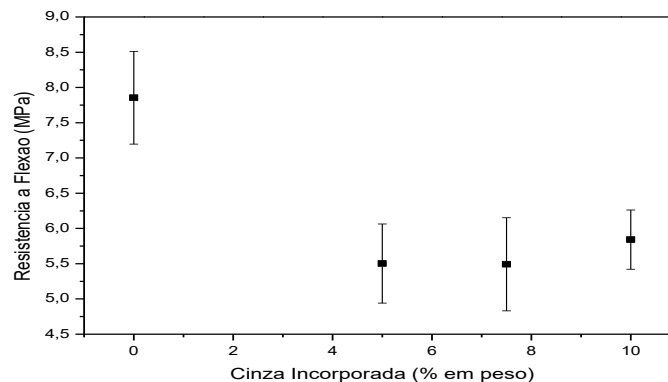


Figura 7- Resistência à flexão dos corpos de prova em função da incorporação da cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados e discussões apresentados anteriormente, a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) é um material constituído essencialmente por SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 , CaO e MgO . A partir da análise mineralógica foi verificado que a CBC é constituída principalmente por quartzo e cristobalita e possui as fases mulita, hematita, fosfato de cálcio e carbonato de potássio em menores quantidades. A composição química da cinza apresenta praticamente os mesmos óxidos presentes na massa argilosa e que podem favorecer a incorporação, como na maior formação de fase vítrea. Geralmente, a adição de CBC tende a

diminuir a retração linear, a massa específica aparente e a resistência à flexão. Mas de forma geral, a adição de cinza de bagaço de cana de açúcar na fabricação de placa cerâmica de revestimento é uma alternativa viável, tanto para dar um destino adequado as cinzas produzidas nas agroindústrias sucroalcooleiras, como para reduzir o uso exagerado de matérias-primas como ocorre na indústria cerâmica, pois as propriedades determinadas estão dentro de faixas aceitáveis pelas normas vigentes.

REFERÊNCIAS

- [1] **Acompanhamento da Safra Brasileira, Cana-de-açúcar**, Segundo Levantamento Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB, Agosto, 2018.
- [2] K. C. P. Faria, J. N. F. Holanda, Incorporation of Sugarcane Bagasse Ash Waste as an Alternative Raw Material for Red Ceramic, **Cerâmica**, Rio de Janeiro, 2013, pp. 473-480.
- [3] **Relatório de Atividades 2014-2016**, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Louças Sanitárias e Congêneres-ANFACER. 2016.
- [4] J. Santos, E. B. Lied, C. V. Acergo, V. Faquim, P. R. Frare, C. F. M. Morejon, **Avaliação de Impacto Ambiental da Indústria Cerâmica Estrutural como Ferramenta da Produção Mais Limpa**, 6 International Workshop Advances In Cleaner Prodction, São Paulo, 2017.
- [5] R. A. Berenguer, F. A. N. Silva, S. M. Torres, E. C. B. Monteiro, P. Helene, A. A. M. Neto, A Influência das Cinzas de Bagaço de Cana-de-açúcar como Substituição Parcial do Cimento na resistência à compressão de argamassa, **Revista ALCONPAT**, 2018, v. 8, n. 1.
- [6] M. A. S. Schettino, J. S. F. Holanda, Processing of porcelain stoneware tile using sugarcane bagasse ash waste, **Processing and Application of Ceramics**, 2015, p. 17-22.
- [7] M. C. Borlini, J. L. C. C. Mendonça, C. M. F. Vieira, S. N. Monteiro, Influência da Temperatura de Sinterização nas Propriedades Físicas, Mecânicas e Microestruturais de Cerâmica Vermelha Incorporada com Cinza de Bagaço de Cana-de-açúcar, **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, 2006, v.11, n. 4, p. 435-443,
- [8] S. R. Texeira, A. Magalhães, A. E. Arenales, M. Souza, J. M. Romero, Valorization of Sugarcane Bagasse Ash Waste as an Alternative Raw Material for Red Ceramic, **Journal of Environmental Management**, (2014) 134.
- [9] W. Acchar, R. J. S. Paranhos, Using Sugarcane Bagasse Ash in to Clay Products, **The Journal of Solid Waste Technology and Management**, p. 5-10. 2012.
- [10] Teixeira, R. S., Souza, A. E., Santos, G. T. A., Pena, A. F. V. (2008). Sugarcane Bagasse Ash as a Potential Quartz Replacement in Red Ceramic. **Journal of the American Ceramic Society**, 2008, v. 91, p. 1883 – 1887.
- [11] Y. Kobayashi, O. Ohira, Y. Ohashi, E. Kato, Effect of Firing Temperature on Bending Strength of Porcelains for Tableware., **J. Am. Ceram. Soc.**, 75 (1992) 7, 1801-1806.
- [12] S. Boussem, A. Bennour, Characteristics and Industrial Application of the Lower Cretaceous Clay Deposits (Buhedma formation), Southeast Tunisia: Potential use for the Manufacturing of Ceramic Tiles and Bricks, **Applied Clay Science**, 2016, v. 123, pp. 210-221.
- [13] J. R. Goes, T. F. Azevedo, T. X. C. Dutra, V. B. Santos, J. B. Severo Junior, L. S. Barreto, Avaliação da Potencialidade de Argilas da Formação Geológica Calumbi e Riachuelo em Sergipe para Aplicação em Revestimento Cerâmico, **Cerâmica**. 60 (2014) 211.