

## Produção de tijolo solo-cimento com utilização de resíduo de polimento de porcelanato

Bruno Librelato Manoel<sup>1</sup>; Camila Lopes Eckert<sup>1</sup>; Glaucea W. Duarte<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Núcleo de Pesquisa em Engenharia e Tecnologia. Centro Universitário Barriga Verde, UNIBAVE,  
88870-000, Orleans, Santa Catarina, Brasil. +55(48)3466-5600

\*gwduarte@gmail.com

(Recebido em 10/08/2019; revisado em 05/02/2020; aceito em 30/11/2020)  
(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

A incorporação de resíduos em produtos utilizados na construção civil vem crescendo devido a necessidade de redução de impactos gerados pela produção de matéria prima virgem e extração de recursos naturais. Esta pesquisa tem o objetivo de estudar a possibilidade de utilização de resíduo de polimento de porcelanato substituindo o cimento no traço do tijolo solo-cimento. Para isso, foram desenvolvidas, formulações com diferentes percentuais de substituição do cimento pelo resíduo e as propriedades de resistência à compressão e absorção de água foram avaliadas. Nos testes de resistência à compressão os resultados mostram que a substituição de resíduo de polimento de porcelanato por cimento altera significativamente as propriedades do traço padrão, o que pode ocorrer devido à pequena quantidade de água disponível para que ocorra as reações de cura do cimento e de ativação do material pozzolânico ou também devido ao pequeno tempo de cura utilizado para rompimento das amostras. Apesar disto, os resultados de resistência à compressão, para a amostra com 20% de substituição de cimento fica acima do exigido por norma para este tipo de produto. Além disso, nos testes de absorção de água os resultados não apresentaram uma alteração significativa, indicando que a mesma formulação é indicada para esta aplicação, reduzindo significativamente a quantidade de cimento utilizada para fabricação de tijolos solo-cimento.

**Palavras-chave:** Tijolo; Solo-cimento; Resíduo Cerâmico.

### Abstract:

The incorporation of waste in products used in civil construction has been growing due to the need to reduce impacts generated by the production of virgin raw material and extraction of natural resources. This research aims to study the possibility of using porcelain polishing residue replacing cement in the trace of the soil-cement brick. For this, formulations with different percentages of cement substitution by the residue were developed and the properties of compressive strength and water absorption were evaluated. In the compressive strength tests the results show that the replacement of porcelain polishing residue by cement significantly alters the properties of the standard trace, which can occur due to the small amount of water available for the cure reactions of the cement and activation of the pozzolanic material or also due to the small curing time used for breaking the samples. Despite this, the results of compressive strength, for the sample with 20% cement replacement is above the required by standard norms for this type of product. Furthermore, in the water absorption tests the results did not present a significant change, indicating that the same formulation is indicated for this application, significantly reducing the amount of cement used for the manufacture of soil-cement bricks.

**Keywords:** Brick; Soil-cement; Ceramic Residue.

### 1. Introdução

Sustentabilidade é um tema destacado, estudado e aplicado com muita ênfase nas diversas áreas da indústria da construção civil. Essa preocupação é resultado de uma longa evolução da percepção de que a ação humana tem causado transformações não positivas na natureza [1]. Como exemplo, tem-se a produção de cimento, que é um dos materiais mais utilizados na construção, e gera impactos em quase todas as fases de produção [2].

Dessa forma, em função da escassez de recursos naturais, profissionais da área da construção civil estão

sempre em busca de materiais e técnicas construtivas que minimizem o impacto causado pelas construções em geral [3 e 4].

Uma das formas de reduzir este impacto ambiental é a utilização de produtos para construção civil que não necessitem de um processo de queima para sua produção, como a fabricação do tijolo solo-cimento, por exemplo, em substituição aos tijolos tradicionais. O tijolo solo-cimento é uma mistura de solo cru, água e cimento Portland prensados em um molde e posteriormente curado sem qualquer processo de queima, podendo

cumprir tanto função de vedação quanto função estrutural [5 e 6].

Apesar de não utilizar queima no seu processo, o tijolo solo-cimento, como o próprio nome prevê, utiliza cimento em sua composição. Dessa forma, para transformar o tijolo solo-cimento em um produto ainda mais sustentável, é necessário desenvolver uma alternativa para diminuir a quantidade de cimento utilizada em seu traço.

Pensando na redução desse consumo, surge a possibilidade de adição de algum resíduo industrial tenha propriedades pozolânicas; segundo a NBR 12653 [7] são aqueles materiais que quando finamente dividido e em presença de água forma compostos com propriedades cimentantes. Dentre esses materiais, cita-se a utilização do resíduo de polimento de porcelanato (RPP), que é produzido em grande quantidade pelas indústrias cerâmicas, gerando, além do problema ambiental, um custo para o seu descarte correto [8]. Somente em Santa Catarina, estima-se que as empresas cerâmicas geram 1.000 toneladas por semana deste resíduo [9].

O resíduo de polimento de porcelanato é descartado em forma de lodo e pode ser inserido como material cimentício auxiliar conforme já verificado por Steiner [10], ou mesmo como material de enchimento. As altas

concentrações de sílica e alumina favorecem a reação pozolânica durante a hidratação, aumentando esse efeito em cimento Portland [11].

Com base no contexto apresentado, o presente trabalho pretende avaliar a utilização do resíduo de polimento de porcelanato (RPP) substituindo parcialmente o cimento Portland no traço do tijolo solo-cimento, comparando percentuais de substituição com a formulação original e seguindo as propriedades exigidas pelas normas NBR 8491 [12] NBR 8492 [13].

## 2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento experimental da pesquisa, utilizou-se como matérias-primas padrão a areia de saibro, água e cimento Portland CP II-Z-32, que é composto por 76 à 94% de gesso e clínquer e de 6 à 14% de pozolana.

Para determinar a granulometria do solo utilizado no processo foi realizado um ensaio de peneiramento segundo a NBR 248 [14], obtendo-se o resultado ideal, onde o solo é passante 100% na peneira ABNT 4,75 mm e 10% a 50% na peneira ABNT 0,075 mm conforme Figura I.

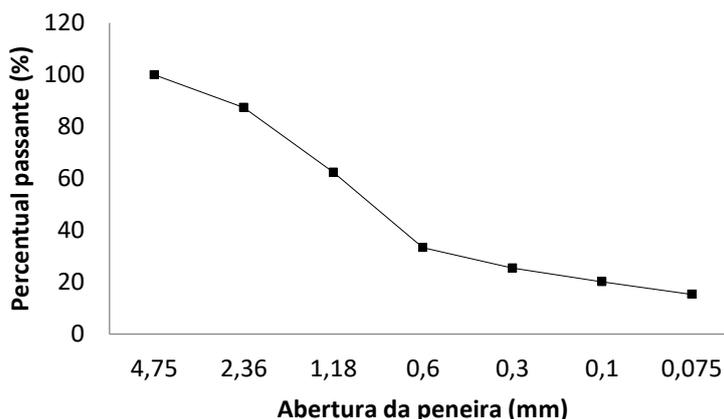


Figura I – Granulometria do solo utilizado na produção do tijolo solo-cimento.

Como resíduo, utilizou-se o resíduo de polimento de porcelanato (RPP), que possui distribuição granulométrica variando entre 0,4 e 200 µm, com maior parte do volume amostral entre aproximadamente 2 e 20

µm, conforme mostra a Figura II, e é composto por 70,328% de sílica (SiO<sub>2</sub>), 22,054% de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e pequenas quantidades de outros óxidos, conforme apresenta a Tabela I.

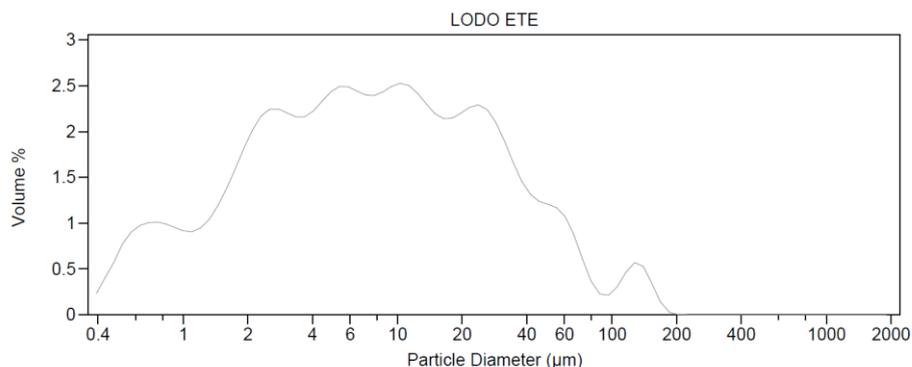


Figura II – Distribuição granulométrica do RPP.

O traço padrão para produção dos tijolos solo-cimento é 1 : 8,89 : 0,47 (cimento : solo : água).

Para descobrir o teor de umidade do solo e no RPP, amostras dos dois materiais foram deixadas em estufa durante 24 h à temperatura de 100 oC, sendo pesadas antes e após a secagem. Os resultados de umidade para o solo e o RPP são de 9,49% e 36,89%, respectivamente.

Tabela I – Composição química do resíduo de polimento de porcelanato (RPP).

Elemento	Concentração (% em massa)
Na <sub>2</sub> O	2,252
MgO	1,519
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,054
SiO <sub>2</sub>	70,328
P <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,256
SO <sub>3</sub>	0,114
Outros óxidos	2,477

O planejamento experimental para substituição do cimento por RPP foi desenvolvido a partir de trabalhos bem-sucedidos já realizados por outros autores, como o trabalho de Steiner [10]. Foram definidos percentuais de 20, 25 e 57% de substituição de cimento. É importante salientar que, os percentuais de substituição de 20 e 25% foram escolhidos em função de trabalhos previamente analisados. Já o percentual de 57% de substituição de cimento por resíduo foi avaliado em função da maior quantidade de RPP, no qual a sua umidade não ultrapassasse a quantidade de água utilizada no traço padrão, ou seja, quando se substitui 57% de cimento não é preciso adicionar água ao traço pois a umidade presente no RPP é suficiente para suprir a quantidade prevista.

Com os traços definidos procedeu-se com a moldagem dos corpos de prova, produzindo 10 peças para cada percentual de substituição. O equipamento utilizado para produção dos tijolos solo-cimento, Figura III, composto de uma padiola (Figura IIIA), o misturador (Figura IIIB) e um prensa (Figura IIIC).



Figura III – Máquina para moldagem do tijolo solo-cimento: (A) padiola, (B) misturador e (C) prensa.

Utilizando uma balança digital com capacidade de 5kg e com resolução de 0,01 g, o material foi pesado conforme seu percentual de substituição e depositado na padiola na seguinte sequência: (1) 50% do solo; (2) 100% do cimento; (3) 50% do solo; (4) percentual de resíduo a ser adicionado no traço. Após depositar todo o material na padiola, o mesmo foi levado ao misturador. No misturador a sequência de ações foi a seguinte: (1) mistura por 5 min; (2) adição de água (quando necessário); (3) mistura por 5 minutos. Após passar por peneiramento, obteve-se um material de cor, textura e umidade uniforme. Do misturador, o material vai direto para a prensa e em seguida são moldados os corpos de prova. Estes foram identificados e envolvidos em filme stretch para controlar a perda de umidade e acondicionados em paletes, onde ficam até cura por 28d conforme NBR 8491 [12].

Para avaliar se as novas formulações atendiam as solicitações da NBR 8492 [13] os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão e absorção de água.

Para o ensaio de compressão foram utilizadas 7 amostras. O ensaio foi realizado em uma máquina de ensaio à compressão, marca Fortest, modelo FT 01, Classe 1, que submete o corpo de prova a esforços de 500 N/s até ocorrer a sua ruptura.

Para o ensaio de absorção de água foram utilizadas 3 amostras secas em estufa à temperatura de 110 °C

durante 12 h, sendo posteriormente submergidas por completo em um tanque com água. Foram pesadas as amostras após cada procedimento para se obter o percentual de absorção de água.

Os resultados obtidos nos ensaios foram comparados baseando-se nas médias e desvio padrão de cada traço, além de análises estatísticas de variância (ANOVA), para verificar se há variação significativa entre todas as médias e, posteriormente, teste Tukey, a fim de obter a relação das amostras que apresentaram variância entre si.

### 3. Resultados e discussão

A partir da caracterização química do RPP, pode-se verificar que este apresenta como componentes predominantes a sílica e a alumina, com percentuais de participação de 70,328 % e 22,054%, respectivamente. Esse resultado sugere, conforme a NBR 12653 [7], que o RPP pode ter características pozolânicas, pois a soma de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é superior a 70%. Para realmente confirmar esta propriedade seriam necessárias outras análises para verificar a reatividade deste material.

A Figura IV apresenta os tijolos obtidos pelos traços executados. Visualmente, as amostras obtiveram um ótimo desempenho de moldagem que resultou num aspecto físico homogêneo, sem possibilidade de diferenciação visual entre as formulações.



Figura IV – Tijolos após procedimento de moldagem.

A Figura V apresenta os resultados (médias e o desvio padrão) do ensaio de resistência à compressão para os corpos de prova padrão e com os diferentes

percentuais de substituição de cimento por RPP, aos 28d de cura. Além disso, mostra a linha de tendência do gráfico, que apresentou um ajuste de 96,157%.

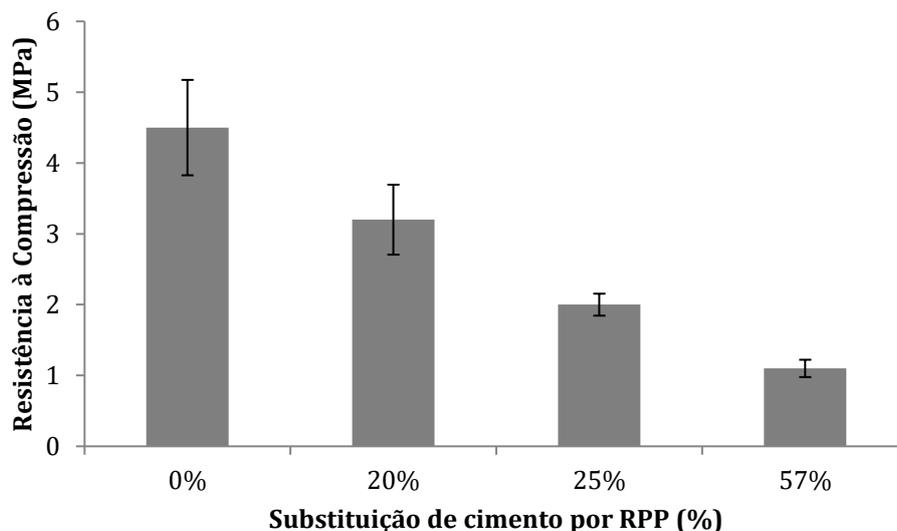


Figura V – Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Percebe-se pela apresentação dos resultados que houve uma diminuição gradativa à resistência à compressão com a adição do RPP, aos 28d. A amostra com 20% de substituição de cimento por RPP apresentou uma queda de 28,88% em relação ao traço padrão. Porém, se comparado à resistência exigida pela NBR 10836 [15] e NBR 8492 [13], que é de 2 MPa, ela ainda apresenta uma resistência 37,50% acima do exigido para tijolos solo-cimento.

Fazendo a mesma analogia com a amostra com 25% de substituição, percebe-se que assim como a amostra analisada anteriormente, a sua resistência à compressão diminuiu, neste caso, em um percentual de 55,50% com relação a amostra sem adição de RPP no traço. Porém, essa amostra também atende o requisito de resistência a compressão de 2 MPa previsto por norma.

Já a amostra com 57% de substituição, apresentou uma resistência à compressão 75,55% menor do que a

amostra sem adição de RPP e, neste caso, não cumpre o requisito de resistência à compressão exigido por norma, o que inviabiliza a aplicação desta formulação, aos 28 dias de cura.

A Tabela II mostra que, para o nível de significância de 5%, a quantidade de resíduo incorporada no traço interfere na resistência a compressão. Assim, para identificar e analisar entre quais traços ocorre variação significativa, desenvolveu-se o Teste Tukey, conforme apresentado na Tabela III. Os resultados mostram que todas as comparações apresentam diferenças estatisticamente significativas, ou seja, qualquer percentual de substituição, no intervalo avaliado, afeta as propriedades mecânicas. Além disso, observa-se que o efeito é sempre negativo, indicando que, pra qualquer uma das comparações, aumentar o percentual de RPP, diminui a resistência à compressão das amostras.

Tabela II – Análise Estatística de Variância (ANOVA) para os dados de resistência à compressão.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F calc.	valor-P	F crítico	R <sup>2</sup>
Entre grupos	46,3925	3	15,46	52,74	0	3,0088	0,9616
Dentro dos grupos	7,037	24	0,29				
Total	53,43	27					

Tabela III – Teste de Tukey para dados de resistência à compressão.

Relação entre % de resíduo	Diff Médio	SEM	q	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
20% - 0%	-1,47143	0,289	7,1895	1,86E-04	0,05	1	-2,2699	-0,673
25% - 0%	-2,54286	0,289	12,424	9,91E-08	0,05	1	-3,3413	-1,7444
25% - 20%	-1,07143	0,289	5,235	5,74E-03	0,05	1	-1,8699	-0,273
57% - 0%	-3,45714	0,289	16,892	0,00E+00	0,05	1	-4,2556	-2,6587
57% - 20%	-1,98571	0,289	9,7023	2,45E-06	0,05	1	-2,7842	-1,1873
57% - 25%	-0,91429	0,289	4,4672	2,06E-02	0,05	1	-1,7127	-0,1158

Essa diminuição da resistência mecânica dos tijolos solo-cimento com adição de RPP pode-se dar devido à menor reatividade deste material em relação ao cimento, requerendo mais tempo para cura do que os tijolos com traço padrão [14 e 15], ou seja, espera-se que em maiores tempos de cura, principalmente os tijolos produzidos com 20% de substituição por RPP, se assemelhem ainda mais à resistência da amostra padrão. Muitos trabalhos mostram que essa aproximação da resistência mecânica se dá em tempos de cura próximos ou acima de 90 dias. Ainda, sabendo que as reações de ativação de um material pozolânico e também para a cura do cimento dependem fortemente da presença de água, pode-se relacionar esta diminuição da resistência à pequena quantidade da mesma utilizada nos traços, não sendo talvez suficiente para que as reações de hidratação da pasta se concretizassem.

Em relação a absorção de água de uma peça, sabe-se que existe uma relação desta com o seu índice de porosidade, ou seja, quanto menor o índice de porosidade, menor será a quantidade de água absorvida. Então, o índice de porosidade é definido pelo teste de absorção de água [18].

Segundo a NBR 10836 [15] e NBR 8492 [13], para que uma tijolo solo-cimento seja considerado quanto a

sua qualidade de absorção de água, precisa apresentar um resultado médio menor ou igual a 20%.

A Figura VI mostra os resultados (médias e o desvio padrão) do teste de absorção de água para os corpos de prova com percentuais de 0, 20, 25 e 57% de substituição de cimento por RPP. Percebe-se que todas as amostras desenvolvidas com substituição parcial do cimento por RPP atenderam ao valor especificado pela NBR, além de apresentarem absorção de água inferior à amostra padrão, possivelmente devido à menor presença de poros, em virtude de uma melhor homogeneização dos tijolos produzidos. Percebe-se também que, quanto maior o percentual de substituição de cimento por resíduo de polimento de porcelanato (RPP), melhor desempenho no teste de absorção de água. Isso pode ser explicado pela possível formação de compostos hidratados, oriundos da reação da sílica presente no RPP, que na presença de água, reage com o hidróxido de cálcio do cimento para formação de silicato de cálcio hidratado. O hidróxido de sódio, normalmente encontrasse nas porosidades da peça e, essa reação, faz com que se forme uma pasta mas densa em função da substituição de poros grandes por poros menores [19].

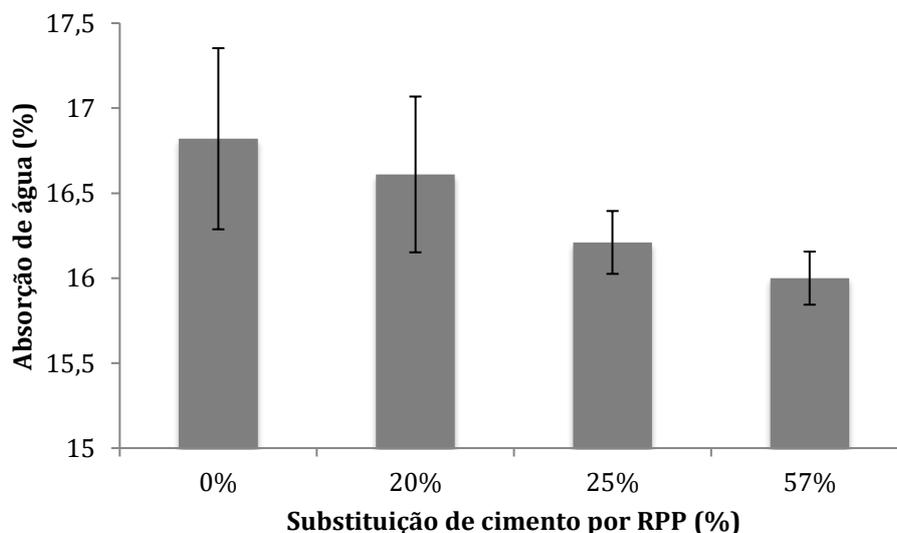


Figura VI – Resultados do ensaio de absorção de água.

A Tabela IV apresenta a ANOVA para análise estatística dos resultados de absorção de água das composições avaliadas. Percebe-se que, para o nível de significância de 5%, a variação observada entre os resultados obtidos para a absorção de água não é significativa. Isso significa que a capacidade de absorção de água do tijolo não é afetada diretamente pela

incorporação do resíduo no traço. Todos os valores médios de absorção de água apresentados ficam abaixo do traço padrão, e dentro do exigido por norma, indicando que, neste quesito, qualquer uma das amostras poderia ser executada.

Tabela IV – Análise Estatística de Variância – (ANOVA) para dados de absorção de água.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	R <sup>2</sup>
Entre grupos	1,2511	3	0,417	3,0188	0,0939	4,06618	0,8745
Dentro dos grupos	1,1051	8	0,138				
Total	2,3562	11					

#### 4. Conclusões

A utilização de resíduo de polimento de porcelanato (RPP) na construção civil traz a possibilidade de reduzir a quantidade de cimento utilizado em diversos processos e, consequentemente, reduzir a produção altamente poluente deste material, reduzindo a exploração de recursos naturais.

Analisando as três formulações que continham substituição de cimento por RPP, percebe-se que a resistência à compressão diminuiu com o aumento do percentual de substituição, com tempo de cura de 28 dias. Espera-se que tempos maiores de cura possibilitem a produção de amostras com resistência mais próxima ao traço padrão, visto que o RPP necessita de maior tempo de cura para atingir resistências consideráveis.

Porém, mesmo com a diminuição da resistência, o traço com 20% de substituição de cimento por RPP pode ser utilizado na fabricação de tijolos solo-cimento, pois atendem à resistência mínima exigida por norma.

Para o teste de absorção de água, todas as amostras atenderam aos requisitos estabelecidos em norma. Além disso, pelo desenvolvimento da análise de variância, percebeu-se que não houve diferença significativa entre as composições, indicando que a presença de RPP não afeta a absorção de água dos tijolos produzidos.

Com o presente estudo, foi possível analisar que, dentre os traços avaliados, o com 20% de substituição de cimento por resíduo de polimento de porcelanato apresentou resultados seguros quanto à resistência à compressão e absorção de água. Dessa forma, pode-se concluir que é possível a substituição de 20% de todo o cimento utilizado na fabricação dos tijolos com traço padrão por RPP.

Isso mostra que a implantação desse traço em uma escala industrial, em uma empresa que produz em média 3500 tijolos/dia, pode acarretar uma redução de aproximadamente 300 kg/dia de cimento. Essa redução, além de trazer o benefício ambiental de diminuir a utilização de cimento, que possui um processo de produção altamente poluidor, ainda auxilia no consumo de um resíduo gerado pela indústria cerâmica em grande

quantidade e que, normalmente, precisa ser encaminhada para aterros sanitários.

Além disso, considerando a parte econômica do processo, a redução de 20% do cimento utilizado gera uma economia de aproximadamente R\$40.000,00 por ano, diminuindo os custos de produção dos tijolos ecológicos produzidos atualmente.

#### Referências

- [1] Spadotto, A., Nora, D. D., Turella, E. C. L., Wergenes, T. N., Barbisan, A. O. Impactos ambientais causados pela construção civil. *Áreas das ciências sociais aplicadas*, 2 (2), 173–180, 2011.
- [2] Carvalho, M. B. M. Impactos e Conflitos da Produção de Cimento no Distrito Federal [dissertação]. Brasília: Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília; 2008.
- [3] Fiais, B. B., Souza, D. S. Construção sustentável com tijolo ecológico. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*, 2 (1), 94-108, 2017.
- [4] Silva, D., Aguiar, M. B., A utilização da casca da banana como substituição de parte do cimento na produção de tijolos ecológicos: a busca por alternativas sustentáveis. *Percurso acadêmico*, 7 (13), 19-32, 2017.
- [5] Morais, M. B., Chaves, A. M., Jones, K. M. Análise de viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea. *Revista Pensar Engenharia*, 2 (2), 1-12, 2014.
- [6] Nascimento, A. M., Feitosa, A. O., Almeida, T. S., Lacerda, D. M. Tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. *Inter Scientia*, 6 (1), 187–202, 2018.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12653: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro; 2012.
- [8] Mendes, R., Zanotti, R. A. R., Menezes, J. C. S. S. Produção de solo-cimento (tijolo ecológico) utilizando resíduo do polimento de grés de

- porcelanato como fonte de sílica. Revista de Engenharia Civil IMED, 1 (1), 50–55, 2014.
- [9] Cardoso, P., Pelisser, F. Pozzolanic effect of porcelain polishing residue in Portland cement. Journal of Cleaner Production 100 (2015) 84–88.
- [10] Steiner, L. R. Efeito do resíduo do polimento de porcelanato como material cimentício suplementar [dissertação]. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense; 2014.
- [11] Wild, Khatib, S., J.M., Jones A. Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. Cement and Concrete Research, 26, 1537–1544, 1996.
- [12] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8491: Tijolo solo-cimento – Requisitos. Rio de Janeiro; 2012.
- [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8492: Tijolo solo-cimento – Análise dimensional, determinação de resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro; 2012.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro; 2003.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro; 2013.
- [16] Shi, C., Roy, D., Krivenko, P.V. Alkali-activated cements and concretes. London: Taylor & Francis; 2006.
- [17] Davidovits, J. Geopolymer: chemistry and applications. 2nd ed. Saint-Quentin: Institute Geopolymere; 2008.
- [18] Fernandes, I. D. Blocos e pavers: produção e controle de qualidade. 2ª ed. Jaraguá do Sul: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais; 2011.
- [19] Cordeiro, G. C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cinza de cana de açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto [tese] Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2006.