

AVALIAÇÃO DO USO DE CINZA DO LODO DE ESGOTO COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO USO DO CIMENTO EM MISTURAS DE CONCRETO

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

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

Salmo Moreira Sidel (UFT) E-mail: sidel@uft.edu.br

Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira (UFT) E-mail: carolina.doliveira@mail.uft.edu.br

Resumo: São encontradas muitas dificuldades relacionadas ao descarte adequado do lodo gerado no tratamento de esgoto, levando a gastos elevados para as concessionárias de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Neste trabalho foi proposta a realização do reaproveitamento do lodo da ETE, apodrecido e incinerado a 400° C, como substituição parcial ao cimento Portland na mistura de concreto convencional. A primeira parte do trabalho consistiu na caracterização física da cinza do lodo. Em seguida, foram realizados ensaios físicos e mecânicos no concreto convencional e nos traços de concreto com adição de cinza nas proporções de 5, 7,5 e 10%. Os resultados dos traços com cinza foram analisados e comparados ao concreto convencional, sendo a substituição nas proporções de 5% e 10% as melhores opções encontradas, concluindo ser viável a utilização de cinza de lodo de esgoto para a construção civil.

Palavras-chave: Cinza de lodo de esgoto, cimento Portland, concreto, adição mineral.

EVALUATION OF THE USE OF SEWAGE SLUDGE ASH (SSA) AS PARTIAL SUBSTITUTION TO THE USE OF CEMENT IN CONCRETE MIXTURES

Abstract: There are many difficulties related to an adequate final disposition of the sewage power plant waste, leading to high expenses to Sewage Treatment Stations (ETEs) concessionaires. In this work, it was proposed to use sludge ash from the sewage treatment, calcined and incinerated at 400° C, as a partial replacement for Portland cement in the conventional concrete mix. The first stage of the research was the physical characterization of the constituent materials of the concrete and the ash of the sludge. It was followed by the physical and mechanical tests of conventional concrete and traces of concrete with addition of ash in the proportions of 5, 7.5 and 10%. The results of ash traces were analyzed and compared to the conventional concrete traces, and the substitution in the proportions of 5% and 10% were the best options, concluding that it is feasible the use of sewage sludge ash for the civil construction.

Keywords: Sewage sludge ash, Portland cement, concrete, mineral addition.

1. Introdução

Os resíduos gerados, tanto sólidos quanto líquidos, são agentes causadores de poluição nas grandes áreas urbanas. Grande parte desses resíduos não possuem um destino certo e costumam ficar expostos ao meio ambiente, ou acabam sendo transportados a aterros sanitários, caso haja essa possibilidade (FONTES, 2003).

Dentre os resíduos gerados está o lodo proveniente do tratamento biológico de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), que na maioria das vezes é jogado na natureza sem o devido tratamento. O lodo seco produzido anualmente no mundo inteiro já excedeu 30

milhões de toneladas e, atualmente, no Brasil, estima-se uma produção anual de mais de 300 mil toneladas de lodo seco, considerando todas as ETEs (KRÜGER *et al.*, 2014). O lodo possui altas concentrações de micro-organismos, sólidos orgânicos e minerais, e em contato com o meio ambiente, pode gerar sérios riscos à saúde humana e à natureza. No país ainda é muito recente a preocupação em realizar o descarte correto desse lodo, sendo hoje mais utilizada a disposição nos aterros sanitários (IWAKI, 2017).

A possível substituição parcial do cimento Portland por cinza de lodo vem sendo estudada e, alguns pesquisadores já concluíram que pode-se observar uma redução nos custos de produção do concreto, sendo que essa prática já é frequente nos EUA, Japão e em alguns países da Europa (IWAKI, 2017). Além da economia, observa-se também que, dependendo da quantidade utilizada de cinza de lodo, ocorre um aumento na resistência do concreto endurecido, devido à redução dos poros no mesmo (GEYER, 2001).

Estudos mostram que o material obtido da queima do lodo pode ser comparado a uma areia bem fina, e possui densidade menor que o cimento Portland, dependendo da temperatura de queima, que quanto maior, mais densa será a cinza. Apresenta, também, partículas irregulares com textura superficial rígida e microestrutura porosa, o que pode acarretar numa alta absorção e no aumento da quantidade de água utilizada para produção do concreto (LYNN *et al.*, 2015).

As características da cinza do lodo de esgoto se alteram para cada região estudada, dependendo do que está incluso: indústrias, residências ou área agrícola (DONATELLO; CHEESEMAN, 2013). Mesmo com essa variabilidade, as cinzas de lodo, independente da região, partilham os mesmos óxidos em sua composição, com elevada concentração de óxidos em sua microestrutura, sendo os principais SiO₂, Al₂O₃ e CaO, e outros em menores teores como Fe₂O₃, Na₂O, MgO, P₂O₅ e SO₃ (LYNN *et al.*, 2015).

Na Tabela 1 é possível observar o comparativo entre alguns resultados das quantidades de óxidos presentes na cinza do lodo, com Fluorescência de Raios-X (XRF), a partir de diferentes autores.

Tabela 1 – Caracterização química da cinza de lodo de esgoto.

Óxido (%)	Autores					
	Cyr <i>et al.</i> (2007)	Kosior-Kazberuk (2010)	Ksepko (2013)	Baeza-Brotans <i>et al.</i> (2014)	Li <i>et al.</i> (2017)	Chen e Poon (2017)
SiO ₂	34,2	34,68	32,80	17,27	27,24	27,28
CaO	20,6	15,42	12,30	30,24	6,34	10,42
Al ₂ O ₃	12,6	10,32	13,30	9,64	27,26	18,23
P ₂ O ₅	14,8	18,17	19,4	14,25	12,28	9,72
Fe ₂ O ₃	4,7	6,32	9,06	8,52	14,44	12,20
Na ₂ O	1,0	0,70	0,81	0,94	-	7,28
MgO	1,9	2,65	4,44	3,22	-	3,15
SO ₃	2,8	0,60	1,98	8,95	3,35	6,10

Devido à disposição de SiO₂ e Al₂O₃, a cinza do lodo pode apresentar características pozolânicas. Porém, deve-se atentar à temperatura de incineração, pois a ativação da pozolanicidade da cinza ocorrerá apenas em determinadas temperaturas (DONATELLO; CHEESEMAN, 2013). Tantawy *et al.* (2012) concluíram que a

temperatura ideal para incineração do lodo deve ser otimizada em 800° C, sendo que um valor inferior pode levar a sílica amorfa a capturar carbono resultante de condições de combustão incompletas, e um valor superior pode gerar a cristalização da sílica amorfa, levando à redução das atividades pozolânicas da cinza do lodo de esgoto.

Neste trabalho, procura-se estudar e analisar a cinza gerada pela incineração do lodo gerado pela ETE-Prata da cidade de Palmas-TO, utilizando esta como substituição parcial ao uso do cimento no concreto convencional. Com isso, serão confeccionados diferentes traços de concreto, com diferentes proporções de adição de cinza de lodo, a fim de se analisar as características físicas e mecânicas.

2. Materiais e métodos

A pesquisa realizada é laboratorial e aplicada, com um procedimento metodológico científico e estatístico, a fim de avaliar as características físicas e mecânicas dos traços de concreto e obter o concreto com cinza de lodo que tenha as melhores características.

Para a obtenção da cinza do lodo, primeiramente, foi realizada a coleta do lodo úmido na ETE-Prata, localizada na cidade de Palmas, sob responsabilidade da empresa BRK Ambiental. Na coleta foram adotados os devidos cuidados, como utilização de luvas e máscaras para evitar exposição aos patógenos presentes no resíduo. Da mesma forma, o armazenamento foi feito em dois tambores de 100 litros com tampa, diminuindo o contato com o ambiente externo enquanto o processo de queima não fosse realizado.

Em seguida, foi realizado o apodrecimento do material por exposição solar e de ventos, por três dias. Após o processo de apodrecimento, o lodo foi levado à uma cerâmica onde foi alocado em vasos de cerâmica, e incinerado à temperatura de 400° C, por 30 horas, devido ao ciclo do forno utilizado. Por último, foi realizada a moagem do material obtido na queima, por aproximadamente um minuto para cada parte do lodo queimado, resultando na cinza do lodo, mostrado na Figura 1.



Figura 1 – Cinza do lodo de esgoto.

Com a cinza do lodo obtida, foram realizados os mesmos ensaios descritos para o cimento Portland, que é o ensaio de massa específica, regida pela norma NBR NM 23 (ABNT, 2001), e o ensaio de finura, regida pela norma NBR 11579 (ABNT, 2012), considerando que a cinza substituiu parcialmente o volume de cimento na mistura de concreto. Os objetivos desta caracterização foram observar o comportamento da cinza e

compará-la ao cimento Portland e obter os dados para dimensionamento dos traços com adição de cinza.

Seguindo as orientações da literatura, foram definidos percentuais de substituição de cimento por cinza de lodo de 5%, 7,5% e 10% (PÉREZ-CARRIÓN *et al.*, 2014; BAEZA-BROTONS *et al.*, 2014; LYNN *et al.*, 2015). Com as diferentes dosagens de concreto ainda fresco, foi realizado o slump test, também denominado ensaio de abatimento por tronco de cone, seguindo os passos norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), com o objetivo de analisar a trabalhabilidade do concreto e posteriormente comparar este com os traços com substituição de cimento por cinza. Após o slump test foram moldados cinco corpos de prova cilíndricos de 10 x 20 cm para determinação da resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias, seguindo os passos previstos na norma NBR 5739 (ABNT, 2007) para cada traço. O processo de moldagem de corpos de prova é regido pela NBR 5738 (ABNT, 2016).

3. Resultados e discussões

A seguir são apresentados os resultados referentes aos ensaios realizados para caracterização da cinza de lodo de esgoto, além dos resultados dos ensaios realizados com concreto fresco e endurecido, para avaliar corretamente a influência da cinza nas propriedades mecânicas do concreto.

3.1. Caracterização da cinza do lodo de esgoto

Na Tabela 2 são apresentados os valores de massa específica para o cimento utilizado na pesquisa e a cinza de lodo de esgoto, para isso também foi utilizada como base a norma NBR NM 23 (ABNT, 2001), que usa o frasco de Le Chatelier para obtenção dos resultados. Também são apresentados na Tabela 2 os valores da finura das duas amostras de cinza, encontrados através do método regido pela NBR 11579 (ABNT, 2012) utilizando a peneira de nº 200.

Tabela 2 – Caracterização física do cimento e da cinza de lodo de esgoto.

Propriedades	Cimento	Cinza
Massa específica	3180 kg/m ³	2760 kg/m ³
Módulo de finura	11,2%	11,5%

É possível observar que os valores de módulo de finura dos materiais foram bem similares entre si, mostrando que a cinza possui finura suficiente para ser considerada um material pozolânico. Os valores de massa específica não foram tão similares, porém essa diferença não foi tão considerável, considerando a cinza material compatível para os objetivos da pesquisa.

3.2. Ensaio de abatimento por tronco de cone (*Slump test*)

Os resultados dos ensaios de slump test, para cada traço, estão apresentados na Figura 2 em forma de gráfico, sendo possível analisar melhor o comparativo entre os resultados. É visível a redução da trabalhabilidade do concreto devido à adição de cinza. Como explicitado por Lynn *et al.* (2015) e Naamane *et al.* (2016), devido à presença de partículas irregulares com textura superficial rígida, óxidos P₂O₅ e SO₃ e microestrutura porosa da cinza, pode ser verificado um aumento na demanda de água para produção do concreto.

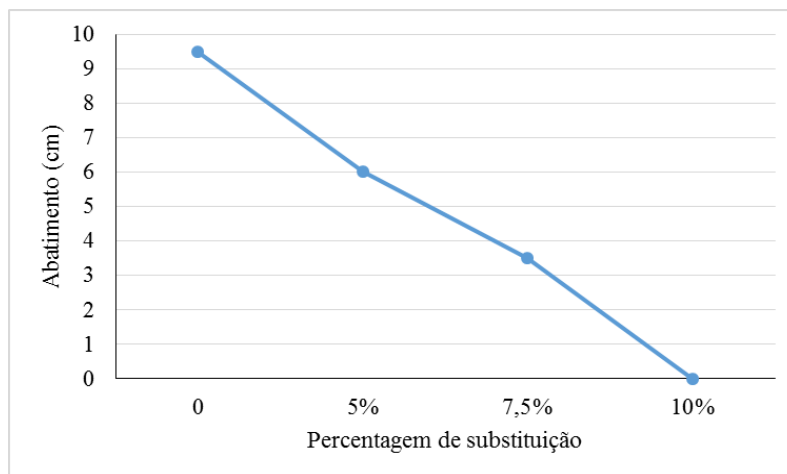


Figura 2 – Valores do ensaio de abatimento por tronco de cone.

Para a dosagem do concreto, não foi possível a utilização de aditivos plastificantes, devido às limitações do laboratório. A utilização deste tipo de aditivo se mostrou necessária devido à demanda de água que a cinza de lodo pode solicitar; isso irá garantir a correta trabalhabilidade do concreto evitando possíveis nichos de concretagem.

3.3. Ensaio de resistência à compressão

A seguir, são apresentados na Tabela 3 os valores de resistência à compressão dos traços de concreto aos 7, 28 e 63 dias, sendo este ensaio realizado com uma prensa universal da marca Emic DL30000, e auxílio do software Tesc versão 1.10, e na Figura 3 é apresentado um comparativo com esses valores, em forma de gráfico. Os resultados foram apresentados a partir da média entre os valores com menor desvio padrão, de cada traço, entre os cinco corpos de prova moldados.

Tabela 3 – Valores de resistência média à compressão (MPa).

Traço	Datas de rompimento		
	7 dias	28 dias	63 dias
0	19,3	31,9	32,2
5%	25,1	35,0	33,6
7,5%	25,3	25,7	26,9
10%	22,6	25,0	32,9

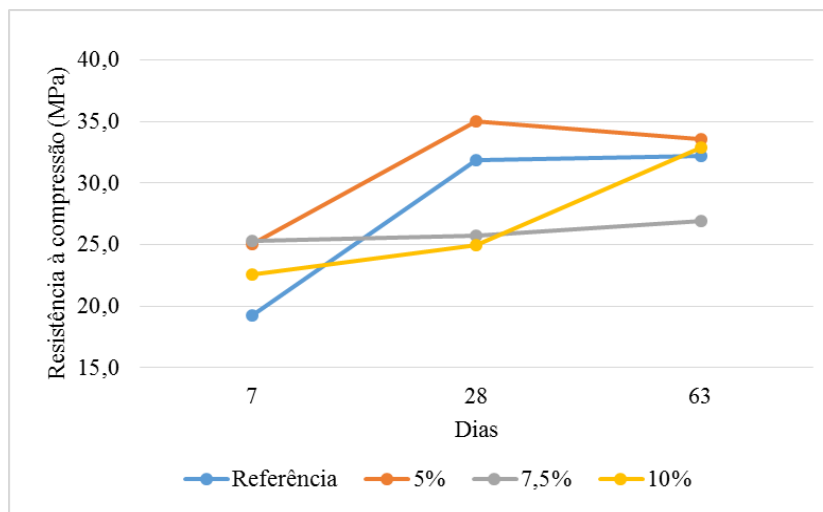


Figura 3 – Comparativo entre os valores de resistência média à compressão.

É possível perceber uma resistência inicial superior para o traço com 7,5% de substituição, porém esse valor quase não obteve aumento de resistência aos 28 dias, apresentando aumento suave aos 63 dias. O traço com 10% de substituição apresentou, inicialmente, menores valores de resistência à compressão, porém esse valor foi elevado aos 28 dias, quase alcançando os 25 MPa, e aos 63 dias pode-se observar um aumento significativo da resistência desse traço, ultrapassando os 30 MPa. O traço com 5% de substituição apresentou maiores resistências aos 28 dias, porém este valor decaiu suavemente aos 63 dias.

4. Conclusões

O objetivo do trabalho consistiu em avaliar um material que conseguisse elevar a resistência final do concreto e reduzindo os impactos ambientais negativos gerados na produção deste. Primeiramente, foi realizada e avaliada a caracterização física da cinza de lodo de esgoto, constatando que esta possui uma estrutura porosa e uma finura superior à do cimento Portland. Além das caracterizações físicas do material, este foi incorporado à mistura de concreto em 5, 7,5 e 10 % de substituição do cimento Portland, sendo submetidos posteriormente aos ensaios de slump test e resistência à compressão. Os resultados obtidos foram comparados entre si, a fim de considerar a viabilidade do uso de cinza de lodo de esgoto em concreto.

Os resultados de slump test mostraram que a trabalhabilidade dos traços reduz com o aumento da adição de cinza de lodo de esgoto, devido à sua microestrutura porosa. Já os resultados de resistência à compressão nos corpos de provas com adição de 5% e 10% apresentaram melhores resultados de resistência. O maior resultado de resistência a compressão, foi apresentado pelo corpo de prova com 5% de adição de cinza de lodo (35,0 MPa aos 28 dias).

Com base nos resultados, pode-se concluir que a substituição do cimento por cinza de lodo de esgoto em concreto, com teores de 5% e 10%, é viável, pois gera um aumento na resistência à compressão. Contudo, sugere-se a utilização de aditivos plastificantes a fim de melhorar a trabalhabilidade do concreto com adição de cinza de lodo de esgoto, tornando-se assim um material ecologicamente viável para produção de concreto, sem prejudicar as propriedades do mesmo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.* Rio de Janeiro, 2016.

_____. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.* Rio de Janeiro, 2007.

_____. *NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).* Rio de Janeiro, 2012.

_____. *NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.* Rio de Janeiro, 2001.

_____. *NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.* Rio de Janeiro, 1998.

BAEZA-BROTONS, F. et al. *Portland cement systems with addition of sewage sludge ash. Application in concretes for the manufacture of blocks.* Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 82, p.112-124, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.072>.

CHEN, Z.; POON, C. S. *Comparative studies on the effects of sewage sludge ash and fly ash on cement hydration and properties of cement mortars.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 154, p.791-803, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.003>.

CYR, M.; COUTAND, M.; CLASTRES, P. *Technological and environmental behavior of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials.* Cement And Concrete Research, [s.l.], v. 37, n. 8, p.1278-1289, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.04.003>.

DONATELLO, S.; CHEESEMAN, C. R. *Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review.* Waste Management, [s.l.], v. 33, n. 11, p.2328-2340, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.05.024>.

FONTES, C. M. A. *Potencialidades da cinza de lodo de estações de tratamento de esgoto como material suplementar para a produção de concretos com cimento Portland.* 120p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

GEYER, A. L. B. *Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto.* 216p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

IWAKI, G. *Destinação final de lodos de ETAs e ETEs.* Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/destinacao-final-de-lodos-de-et-as-e-etes/>. Acesso em: 25 de maio 2021.

KOSIOR-KAZBERUK, M. *Application of SSA as Partial Replacement of Aggregate in Concrete.* Polish Journal Of Environmental Studies, [s.l.], v. 20, n. 2, p.365-370, 09 nov. 2010.

KRÜGER, O.; GRABNER, A.; ADAM, C. *Complete Survey of German Sewage Sludge Ash.* Environmental Science & Technology, [s.l.], v. 48, n. 20, p.11811-11818, 8 out. 2014. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es502766x>.

KSEPKO, E. *Sewage sludge ash as an alternative low-cost oxygen carrier for chemical looping combustion.* Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry, [s.l.], v. 116, n. 3, p.1395-1407, 11 dez. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-013-3564-7>.

LI, J. et al. *Characteristics and metal leachability of incinerated sewage sludge ash and air pollution control residues from Hong Kong evaluated by different methods.* Waste Management, [s.l.], v. 64, p.161-170, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.033>.

LYNN, C. J. et al. *Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 98, p.767-779, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.122>.

NAAMANE, S.; RAIS, Z.; TALEB, M. *The effectiveness of the incineration of sewage sludge on the evolution of physicochemical and mechanical properties of Portland cement.* Construction And Building Materials, [s.l.], v. 112, p.783-789, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.121>.

PÉREZ-CARRIÓN, M. et al. *Potential use of sewage sludge ash (SSA) as a cement replacement in precast concrete blocks.* Materiales de Construcción, [s.l.], v. 64, n. 313, p.1-7, 11 mar. 2014. Editorial CSIC. <http://dx.doi.org/10.3989/mc>.

TANTAWY, M. A. et al. *Evaluation of the Pozzolanic Activity of Sewage Sludge Ash.* ISRN Chemical Engineering, [s.l.], v. 2012, p.1-8, 2012. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.5402/2012/487037>.