

Incorporación de lodos de ETA como sustituto parcial del árido fino en bloques de hormigón con fugas



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 19/ Edición N.38
Junio-Diciembre de 2022
Reia3824 pp. 1-15

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Föster, A.; Lenine Alves, A.; Aparecido Zanolim, A.; Oliveira Diodato, J.; Vinícius de Oliveira, R. (2022) Incorporación de lodos de eta como sustituto parcial del árido fino en bloques de hormigón con fugas. Revista EIA, 19(38), Reia3824. pp. 1-15.
<https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1568>

✉ Autor de correspondencia:

Oliveira Diodato, J. (Jonailce)
Engenhaira Ambiental,
Correo electrónico:
jodiodato@gmail.com

Recibido: 04-01-2021
Aceptado: 18-04-2022
Disponible online: 01-06-2022

ALFRED FÖSTER¹

AGUINALDO LENINE ALVES¹

ANTÔNIO APARECIDO ZANFOLIM¹

✉ JONAILCE OLIVEIRA DIODATO¹

VINÍCIUS DE OLIVEIRA RIBEIRO¹

1.Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Resumen:

El aumento de la concentración poblacional en las zonas urbanas ha provocado un incremento en la demanda de agua potable, consecuentemente, la necesidad de incrementar la producción de agua tratada, obligando a las empresas de saneamiento a ampliar sus sistemas de tratamiento y distribución de agua, resultando en el uso de un mayor volumen de aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, el agua superficial necesita un proceso de tratamiento para que sea potable. Este proceso, realizado en Estaciones de Tratamiento de Agua - ETA, genera un residuo sólido peligroso, denominado lodo ETA. Un gran desafío al que se enfrentan las empresas de saneamiento es la disposición final de los lodos de ETA, ya que la disposición inadecuada, además de degradar el medio ambiente, se caracteriza como un delito ambiental. El presente trabajo tiene como objetivo obtener una forma alternativa de disposición de los lodos ETA de la Estación de Tratamiento de Agua Cecilia Leite Kirchener, en Dourados / MS. Se realizó un estudio sobre la viabilidad de incorporar lodos ETA, en sustitución de áridos finos (arena), en diversas proporciones, para la fabricación de bloques huecos de hormigón para sellado, producidos a escala industrial, realizando diversos ensayos y análisis. Pruebas de laboratorio. Los resultados muestran que los lodos ETA de Dourados / MS presentan viabilidad técnica para ser utilizados en la fabricación de bloques de sellado de hormigón utilizados en la construcción civil, en sustitución de áridos finos (arena), apuntando a un correcto destino de un residuo sólido peligroso. Este estudio arrojó resultados satisfactorios, ya que hubo un aumento en la resistencia de los bloques al compararlos con aquellos sin la adición de lodos, producidos industrialmente.

Palabras clave: Agua Potable, Demanda, Tratamiento, Lodos, ETA, Bloques de Hormigón, Residuos Sólidos, Agregados, Arena, Bloque de Sellado.

Incorporação do lodo de eta como substituto parcial do agregado miúdo em blocos vazados de concreto

Resumo

O aumento na concentração populacional nas áreas urbanas ocasionou um aumento na demanda de água potável, conseqüentemente, a necessidade de se incrementar a produção de água tratada, forçando as empresas de saneamento, a ampliarem seus sistemas de tratamento e distribuição de água, resultando na utilização de um volume maior de águas subterrâneas e superficiais. Porém as águas superficiais necessitam de um processo de tratamento, para torná-las potável. Esse processo, realizado em Estações de Tratamento de Água - ETA, gera um resíduo sólido perigoso, denominado lodo de ETA. Um grande desafio enfrentado pelas empresas de saneamento é a destinação final do Lodo de ETA, pois a destinação inadequada, além de degradar o meio ambiente, é caracterizada como crime ambiental. O presente trabalho, visa obter uma forma alternativa de destinação ao lodo de ETA proveniente da Estação de Tratamento de Água Cecilia Leite Kirchner, em Dourados/MS. Foi realizado um estudo sobre a viabilidade de incorporação do lodo de ETA, em substituição ao agregado miúdo (areia), em variadas proporções, para fabricação de blocos vazados de concreto simples para vedação, produzidos em escala industrial, realizando-se variados testes e análises laboratoriais. Os resultados apontam que o lodo de ETA de Dourados/MS, apresenta viabilidade técnica para ser empregado na confecção de blocos de concreto de vedação utilizados na construção civil, em substituição ao agregado miúdo (areia), visando uma destinação correta à um resíduo sólido perigoso. Este estudo apresentou resultados satisfatórios, visto que, houve um aumento na resistência dos blocos quando comparados por aqueles sem adição de lodo, produzidos industrialmente.

Palavras-chave: Água Potável, Demanda, Tratamento, Lodo, ETA, Blocos de concreto, Resíduo sólido, Agregado, Areia, Bloco de vedação.

Incorporation of eta sludge as a partial substitute of the fine aggregate in leaked concrete blocks

Abstract

The increase in population concentration in urban areas has led to an increase in the demand for drinking water, consequently, the need to increase the production of treated water, forcing sanitation companies to expand their water treatment and distribution systems, resulting in the use of a greater volume of groundwater and surface water. However, surface water needs a treatment process to make it drinkable. This process, carried out in Water Treatment Stations - ETA, generates a hazardous solid waste, called ETA sludge. A major challenge faced by sanitation companies is the final disposal of ETA Sludge, as inadequate disposal, in addition to degrading the environment, is characterized as an environmental crime. The present work aims to obtain an alternative way of disposing of the ETA sludge from the Cecilia Leite Kirchner Water Treatment Station, in Dourados/MS. A study was carried out on the feasibility of incorporating ETA sludge, in replacement of fine aggregate (sand), in

various proportions, for the manufacture of single concrete hollow blocks for sealing, produced on an industrial scale, carrying out various tests and analyses. laboratory tests. The results show that the ETA sludge from Dourados/MS presents technical feasibility to be used in the manufacture of concrete sealing blocks used in civil construction, in replacement of fine aggregate (sand), aiming at a correct destination for a solid hazardous waste. This study showed satisfactory results, since there was an increase in the strength of the blocks when compared to those without the addition of sludge, produced industrially.

Keywords: Drinking Water, Demand, Treatment, Sludge, ETA, Concrete Blocks, Solid Waste, Aggregate, Sand, Sealing Block.

1. Introdução

Com o crescimento populacional e o êxodo rural ocorrido nas últimas décadas, houve um aumento na concentração populacional nas áreas urbanas, promovendo um aumento na demanda de água potável, conseqüentemente, a necessidade de se incrementar a produção de água tratada, forçando as empresas de saneamento, a ampliarem seus sistemas de tratamento e distribuição de água, resultando na utilização de um volume maior de águas subterrâneas e superficiais. Segundo Araújo *et al.* (2015), o objetivo de atender esta demanda por água tratada, trouxe consigo a produção de grandes quantidades de resíduos, os quais muitas vezes, não possuem destinação sustentável, sendo lançados diretamente nos cursos de água.

Para que seja possível o consumo de águas superficiais, é necessário realizar um processo de tratamento de água é realizado na Estação de Tratamento de Água – ETA. Estas águas superficiais são utilizadas em larga escala na obtenção de água potável para consumo humano, e o processo de tratamento deve obedecer a diversas normas internacionais, no Brasil elas são estabelecidas pelo Ministério da Saúde (PINHEIRO, ESTEVÃO E SOUZA, 2014).

De acordo com Achon, Barroso e Cordeiro (2013), no Brasil a maioria das estações de tratamento de água é convencional de ciclo completo, e gera resíduos complexos e de difícil manejo e disposição. Um dos principais resíduos gerados é denominado Lodo de ETA, classificado como resíduo sólido perigoso, que pode exercer efeitos nocivos, uma vez que geralmente é composto por uma massa com substâncias orgânicas e inorgânicas, variando de acordo com a localização da bacia hidrográfica e o tratamento empregado (PINHEIRO ESTEVÃO E SOUZA, 2014).

Um grande desafio enfrentado pelas empresas de saneamento é a destinação final do Lodo de ETA, pois a destinação inadequada é caracterizada como crime ambiental, uma vez que na sua composição, além do material proveniente das águas superficiais, é acrescentado compostos químicos utilizados no tratamento: floculantes e coagulantes (BITTENCOURT *et al.*, 2012; ARAÚJO *et al.*, 2015).

Em Mato Grosso do Sul, cerca de 40% dos centros urbanos são abastecidos, total ou parcialmente, por sistemas de ETA convencionais de captação superficial (BRASIL, 2019). Em Dourados/MS, a ETA convencional é responsável pelo abastecimento de 60 % do perímetro urbano (DOURADOS, 2019).

De acordo com a Lei nº 12305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é obrigatória a destinação final adequada do lodo, sendo o mesmo classificado segundo Norma Brasileira – NBR, 10004 (ABNT, 2004), como resíduo sólido e semissólido.

Uma possível destinação para o Lodo de ETA, é sua utilização em substituição ao agregado miúdo (areia) na construção civil. Estudo realizado por Hoppen *et al.* (2005), por exemplo, apontou a viabilidade de utilização do lodo como agregado miúdo na fabricação dos blocos de cimento, nas proporções de 3, 5, 7 e 10%.

A NBR 7173 (ABNT, 1982), define o bloco vazado de concreto com sendo um elemento de alvenaria cuja seção transversal média útil seja inferior a 75% da seção transversal bruta. Ainda de acordo com a NBR 7173, considera-se a seção transversal bruta, como a área total da seção transversal do bloco, e a seção transversal útil, é a área da seção transversal do bloco, descontadas as áreas vazadas.

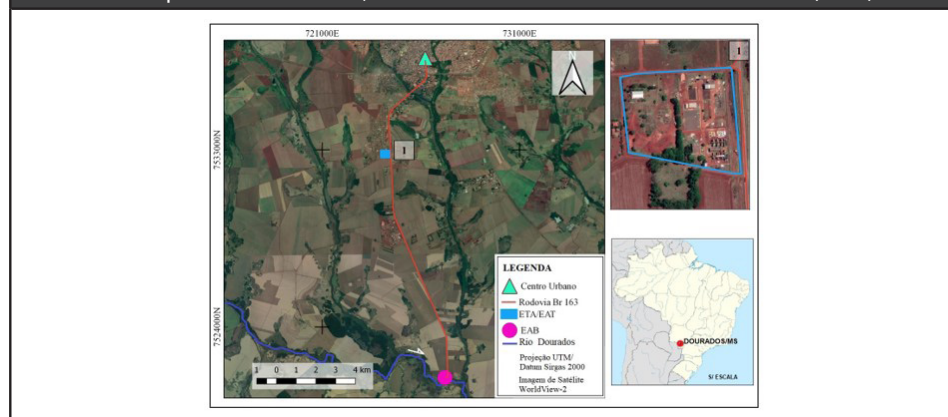
Neste contexto este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica de incorporação de lodo de ETA, em substituição ao agregado miúdo (areia), nas proporções de 0%, 15%, 20% e 25%, em blocos de concreto vazado simples de vedação para alvenaria, a fim de se obter uma alternativa de destinação ao resíduo gerado pela Estação de Tratamento de Água Cecilia Leite Kirchener, localizado no município de Dourados-MS.

2. Materiais e Métodos

Processo de obtenção do material

A obtenção do material, foi possível devido a parceria realizada entre a Empresa de Saneamento Básico de Mato Grosso do Sul – SANESUL e o curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS, que possibilitou a coleta do material nos decantadores da Estação de Tratamento de Água Cecilia Leite Kirchener localizada na rodovia BR 163 km 251 que faz parte do complexo Rio Dourados, composto pela Estação de Água Bruta - EAB, Estação de Tratamento de Água - ETA e Estação de Água Tratada – EAT. A vazão de chegada à ETA situa-se na ordem de 1.650 m³/h, sendo a captação superficial responsável por 60% do abastecimento total da população, o que corresponde a 134 mil habitantes (DOURADOS, 2019). A EAB capta a água do Rio Dourados e a aduz por 12km até a área da ETA e da EAT (Figura 1).

Figura 1: Croqui de localização da ETA, EAT e EAB, partindo do centro urbano de Dourados, acesso pela Rodovia Br 163, no detalhamento a ETA/EAT. **Fonte:** O autor (2019)



A coleta foi realizada nos dias 10/07/2017, 28/08/2017 e 08/01/2018 durante o processo definido como lavagem de decantador. O lodo se localiza no fundo dos decantadores conforme mostrado na Figura 2 (a), e foi retirado com o auxílio de uma pá, de um balde plástico e de galões plásticos com capacidade de 25 litros. Após a coleta nos decantadores, o lodo foi colocado em um caixote de madeira conforme Figura 2 (b) com furos laterais, desenvolvido para acondicionar o lodo úmido e realizar a drenagem, forrado com uma fina tela plástica (tipo mosquiteiro), para a drenagem do excesso de água. O lodo foi mantido neste recipiente até tornar-se denso, com o excesso de água drenado. Após a drenagem, o material permaneceu exposto ao sol em lona plástica para agilizar o processo de secagem, protegido da ação da chuva. Este procedimento de secagem ocorre entre 20 e 30 dias após a coleta do lodo nos decantadores.

Figura 2: (a) Lodo no interior dos decantadores e (b) Caixote de madeira com furos laterais para adensamento do lodo. **Fonte:** O autor (2019)



Após secagem, o material foi triturado, em triturador elétrico da marca MARCONI modelo MA580, visando-se obter um material com partículas homogêneas. Em seguida o material foi peneirado em peneira de aro 55cm, utilizada na construção civil para peneiramento manual, sendo retiradas as partículas maiores.

A análise granulométrica apontou que o material predominante no lodo é a areia, além de conter silte e argila. O resultado da granulometria das amostras retiradas no dia 18 de agosto de 2017, do dia 28 de outubro de 2017 e do dia 08 de fevereiro de 2018 estão apresentados na Tabela 1.

As partículas de acordo com Santos *et al.* (2013), são classificadas em:

- Areia grossa – 2 a 0,2 mm ou 2000 a 200 μm ;
- Areia fina – 0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50 μm ;
- Silte – 0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2 μm ;
- Argila – menor do que 2 μm .

Tabela 1: Análise laboratorial granulométrica Fonte: O autor (2019)

Data da coleta	18/08/2017	28/10/2017	08/02/2018
Areia (%):	47.50	58.75	55.00
Silte (%):	16.25	20.00	18.75
Argila (%):	36.25	21.25	26.25
Classificação do Solo, Tipo:	3	2	2

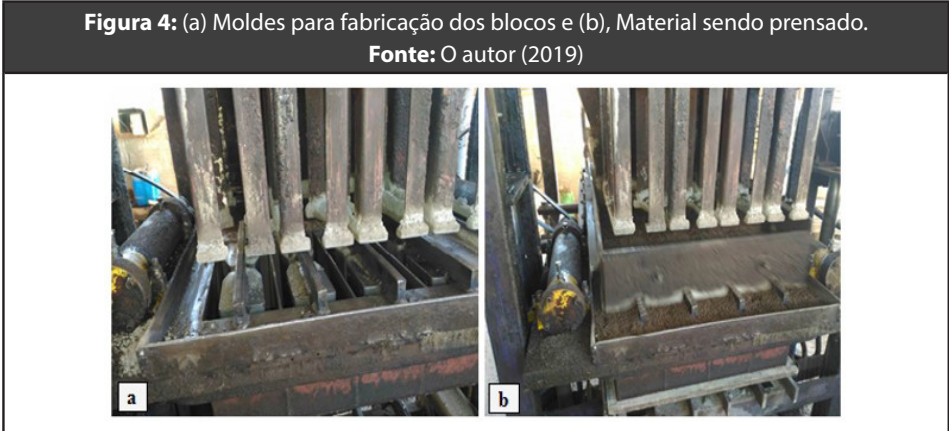
Processo de produção do bloco de concreto

Foram confeccionados 24 blocos de cada traço, nas porcentagens de: 0%, 15%, 20% e 25% de lodo em substituição parcial ao agregado miúdo. A proporção de materiais presentes em cada traço é apresentada na Tabela 2, dimensões aproximadas dos blocos: 19 cm de altura, 39 cm de comprimento, e 14 cm de largura.

A confecção foi realizada na empresa parceira DouraBloco Indústria e Comércio de Blocos de Concreto LTDA, os blocos foram confeccionados de acordo com os procedimentos em escala industrial, com utilização de misturador industrial, Figura 3, vibro prensa hidráulica movida a óleo hidráulico, com acionamento manual, baixo tempo dos ciclos, que é utilizada na produção de blocos estruturais e de vedação, Figura 4.

Tabela 2: Traço para a confecção de blocos de concreto de vedação, produzidos na indústria. Fonte: O autor (2019)

Materiais:	Proporção Lodo de ETA/Areia			
	Ref: 0% - Lodo 100% - Areia	C: 15% - Lodo 85% - Areia	B: 20% - Lodo 80% - Areia	A: 25% - Lodo 75% - Areia
Areia(l)	60	51	48	45
Lodo de ETA(l)	0	9	12	15
Pó de pedra(l)	120	120	120	120
Cimento(l)	18	18	18	18
Água(l)	15	15	15	15
Produção (Un.)	24	24	24	24
Utilizados (Un.)	18	18	18	18



A capacidade de produção da prensa é de 4 unidades por preenchimento, conforme pode ser visualizado na Figura 5 (a). Após a produção total dos blocos, houve a verificação visual, sendo descartados os blocos que apresentaram alguma espécie de fissura ou defeito, no final totalizando 18 corpos de prova de cada traço. Após a confecção, os blocos foram acondicionados sobre uma bancada de madeira nivelada, evitando choques e vibrações, Figura 5 (b) e permaneceram assim por 48 horas. Em seguida foram levados para o local de maturação, com aspersão de água durante 7 dias, depois os blocos foram alocados em ambiente aberto sombreado, com ventilação.



Análise física dos blocos de concreto

A hidratação dos corpos de prova, foi realizada ao ar livre, em ambiente com alta umidade relativa, mantendo úmidos por aspersão durante 7 dias, no local de fabricação, obedecendo as recomendações da NBR 12118 (ABNT, 2013), sendo os mesmos colocados em maturação por 28 dias, com secagem ao ar livre.

Com a finalização do processo de maturação, foi realizada a absorção e índice de vazios com base nas recomendações da NBR 9778 (ABNT, 1987).

Nos testes de absorção de água e índice de vazios foram utilizados 6 corpos de prova de referência, 6 blocos com 15%, 6 de 20% e 6 com 25% de adição de lodo de ETA em substituição a areia.

Para a realização dos testes de absorção de água e índice de vazios dos corpos de prova, primeiro aferiu-se a massa seca (M_i) de cada um deles por meio do uso de balança digital, e em seguida, colocou-se todos imersos em água por 24 horas em temperatura ambiente a fim de se obter a massa saturada (M_{sat}). Após 24 horas, retirou-se os corpos da água, e com o auxílio de um pano limpo e seco retirou-se o excesso de água que ficou sobre os mesmos e a seguir todos foram pesados em balança digital. Obtendo-se os dados relativo a massa saturada. Na continuidade dos testes de saturação e índice de vazios os blocos voltaram para a água e foram pesados submersos, através de balança hidrostática, para a obtenção da massa aparente (M_a).

Os valores obtidos para massa seca (M_i), massa saturada (M_{sat}) e massa aparente (M_a), foram tabulados e seguindo as recomendações da NBR 12118 (ABNT, 2013), determinou-se a área bruta, calculada através da Equação 1.

$$A_b = (b \cdot l) \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, A_b representa a área bruta, sendo expressa em mm^2 ; b representa a largura do corpo de prova (mm); l é o comprimento do corpo de prova (mm).

Já para o cálculo da área líquida, utilizou a Equação 2.

$$A_{liq} = [(M_{sat} - M_i) / (h \cdot \gamma_{\text{água}})] \cdot 1000 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde, A_{liq} é a área líquida (mm^2); M_{sat} é a massa do corpo saturada (g); M_i é a massa aparente do corpo de prova (g); h é a altura média do corpo de prova (mm) e $\gamma_{\text{água}}$ é a massa específica da água (1 g/cm^3).

A avaliação da absorção de água, foi realizado em conformidade com a NBR 6136 (ABNT, 2007), utilizando a Equação 3:

$$a = [(M_{sat} - M_s) / M_s] \cdot 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde, a representa a absorção de água (%); M_{sat} é a massa do corpo saturada (g) e M_s é a massa seca do corpo de prova (g).

O índice de vazios representa a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total, indicando quão poroso é o material, e foi calculado em conformidade

com a NBR 9778 (ABNT, 2005) utilizando a Equação 4. O índice de vazios é importante pois pode influenciar na resistência do bloco de concreto.

$$I_v = [(M_{sat} - M_s) / (M_s - M_i)] * 100 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde, I_v representa o índice de vazios (%); M_{sat} representa a massa do corpo saturada (g); M_s representa a massa seca do corpo de prova (g) e M_i representa a massa aparente do corpo de prova (g).

Análise da resistência dos blocos de concreto

A resistência a compressão dos corpos de prova foi realizada de acordo com as orientações da NBR 7184 (ABNT, 1992). Nestes testes, os corpos de prova foram rompidos por uma prensa hidráulica do Laboratório de Caracterização Mecânica do Centro de Pesquisas em Materiais – CEPEMAT-UEMS.

3. Resultados e Discussão

Durante a realização do experimento, foram utilizados 6 (seis) corpos de prova de cada proporção (A, B, C e Referência).

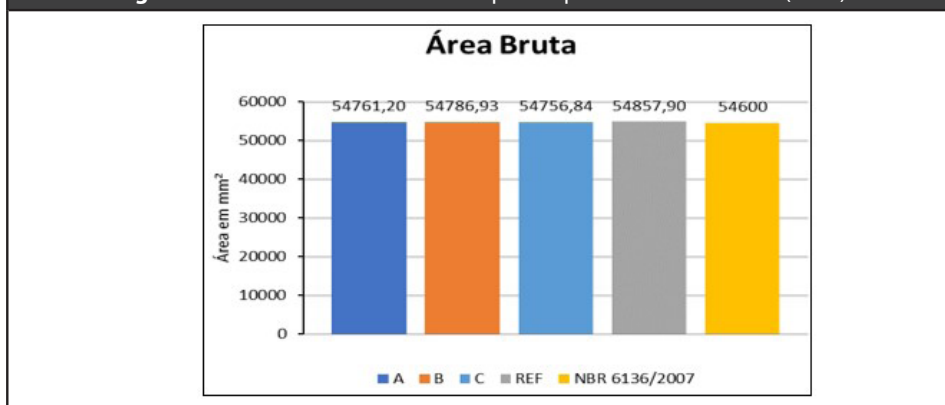
- A: blocos com 25% de lodo e 75% de areia;
- B: blocos com 20% de lodo e 80% de areia;
- C: blocos com 15% de lodo e 85% de areia;
- Referência: com 0% de lodo e 100% de areia.

A Tabela 3 apresenta os valores da área bruta encontrados em cada bloco e Figura 6 apresenta uma comparação entre a área bruta média dos blocos, comparando-os com a NBR 6136 (ABNT, 2007) que enquadra os blocos na “Classe D”, definindo-os como blocos sem função estrutural para uso em elementos de alvenaria acima do solo. Ela também os enquadra, na família de blocos “M-15”.

Tabela 3: Área Bruta Média dos blocos(mm²). Fonte: O autor (2019)

Corpo	ÁREA MÉDIA BRUTA (mm ²)			REFERÊNCIA (0%)
	A(25%)	B(20%)	C(15%)	
1	54809,05	54816,72	54730,36	54709,05
2	54770,04	54660,88	54665,85	55146,00
3	54770,04	54639,00	54704,51	54809,05
4	54692,02	54791,82	54814,01	54706,04
5	54756,00	54897,92	54769,25	54965,09
6	54770,04	54915,21	54857,04	54812,16
MÉDIA	54761,20	54786,93	54756,84	54857,90
Desvio Médio	22,12	67,06	40,97	98,04

Figura 6: Média da área bruta dos corpos de prova. **Fonte:** O autor (2019)

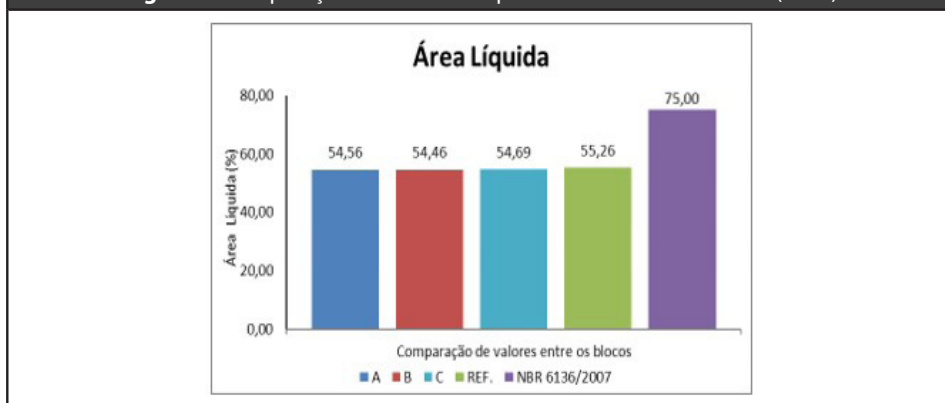


As áreas líquidas, obtidas pela Equação 2, em cada corpo de prova (em mm²), são comparados na Figura 7, e na Tabela 4, é apresentado o valor em %, por bloco, para a área líquida.

Tabela 4: Área líquida dos blocos. **Fonte:** O autor (2019)

Corpo	ÁREA LÍQUIDA (mm ²)			REFERÊNCIA (0%)
	A (25%)	B (20%)	C (15%)	
1	29444,68	30525,14	31065,95	30057,00
2	29961,26	29490,39	30548,18	30575,23
3	29961,26	30525,14	28994,89	30575,23
4	30477,83	29490,39	28994,89	30057,00
5	29961,26	30007,76	30548,18	30575,23
6	29444,68	28973,01	29512,65	30057,00
MÉDIA	29875,16	29835,30	29944,12	30316,12
Desvio Médio	224,51	361,75	514,88	163,88

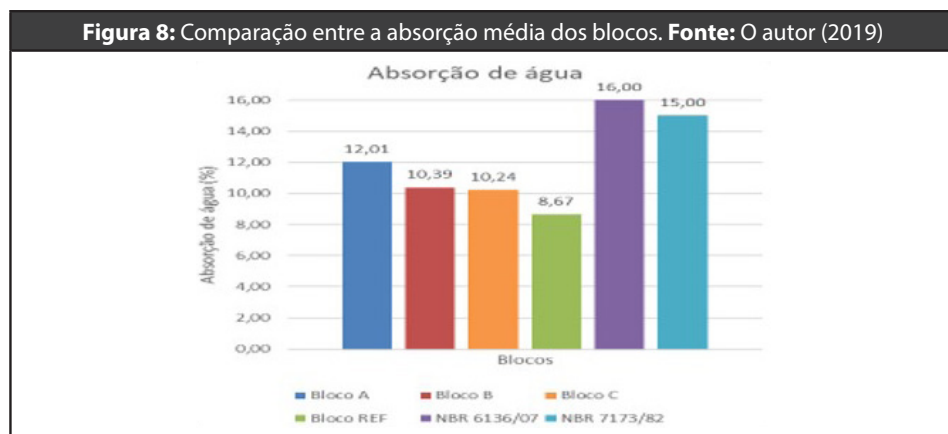
Figura 7: Comparação entre a área líquida média. **Fonte:** O autor (2019)



No teste de absorção de água, os resultados se enquadram nos limites estabelecidos pelas NBRs técnicas vigentes. Utilizando-se a Equação 3, observou-se um aumento médio na massa do bloco “A” de 12,01%, 10,39% no bloco “B”, 10,24% no bloco “C” e 8,67% no bloco “Referência”. Através da Tabela 5 e Figura 8, observou-se que a absorção de água é maior para os corpos de prova confeccionados com lodo, entretanto menores que 15% e 16 %, valores máximos definidos pela NBR 6136 (ABNT, 2007), e NBR 7173 (ABNT, 1982), respectivamente. Rodrigues e Holanda (2013), apontam em seu trabalho que essa maior absorção se deve a um maior índice de vazios no bloco.

Tabela 5: Quantidade de Absorção de água de cada bloco. Fonte: O autor (2019)

Bloco	Absorção (%)			
	A (25%)	B (20%)	C (15%)	REFERÊNCIA (0%)
1	12,73	10,43	10,43	9,82
2	10,62	10,53	9,65	7,56
3	12,73	11,71	9,82	7,69
4	13,64	9,65	10,53	9,65
5	12,73	9,48	9,48	8,62
6	9,65	10,53	11,50	8,70
Média	12,01	10,39	10,24	8,67
Desvio Médio	1,07	0,47	0,50	0,61

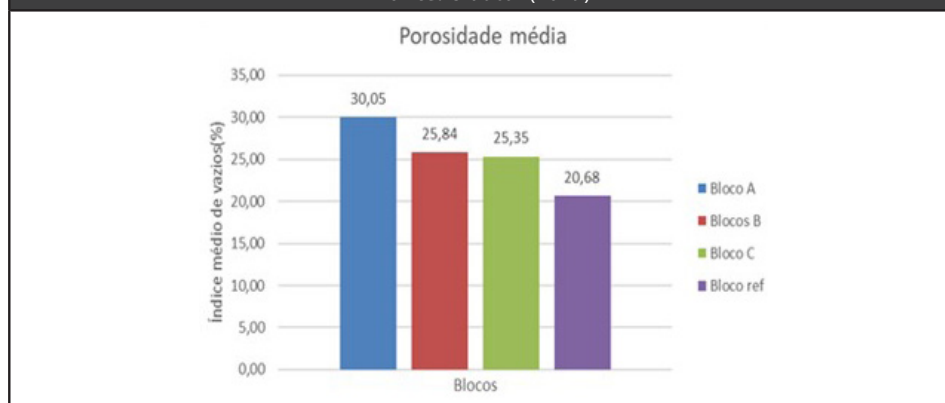


Utilizando a Equação 4, foi determinada a índice de vazios aparente nos blocos. A Tabela 6, mostra estes índices. A figura 9, apresenta o gráfico comparativo das médias, em que pode se observar que os blocos que a substituição de areia por lodo de ETA foi em maior concentração, houve um maior índice de vazios, fato este que pode ser atribuído a presença de matéria orgânica.

Tabela 6: Índice de vazios dos blocos. **Fonte:** O autor (2019)

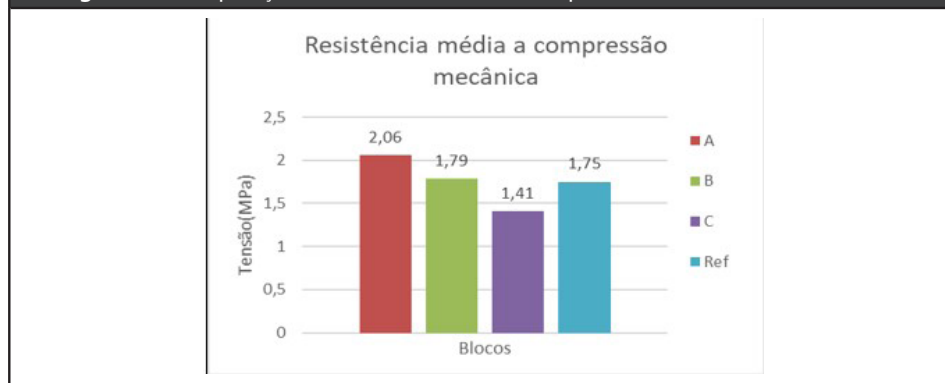
Blocos	Índice de vazios (%)			REFERÊNCIA (0%)
	A (25%)	B (20%)	C (15%)	
1	32,56	25,53	25,00	23,40
2	26,09	26,67	22,92	18,00
3	31,82	28,26	24,44	18,00
4	34,09	23,91	27,27	23,40
5	31,82	23,40	22,92	20,41
6	23,91	27,27	29,55	20,83
Média	30,05	25,84	25,35	20,68
Desvio Médio	1,81	0,86	1,17	1,08

Figura 9: Comparação entre a índice de vazios média dos blocos - porosidade. **Fonte:** O autor (2019)



O último teste foi realizado para verificar a resistência a compressão, realizando uma comparação entre os blocos “A”, “B”, “C” e “Referência”. Durante os testes de rompimento, os blocos “A” apresentaram uma resistência média de 2,06MPa, os blocos “B” 1,79MPa, os blocos “C” 1,41MPa e os blocos “Referência” 1,75MPa, conforme pode ser verificado no comparativo apresentado na Figura 10.

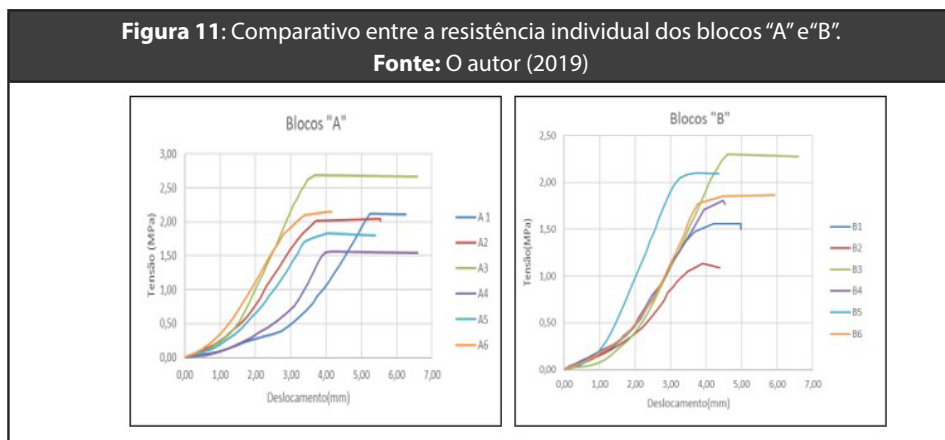
Figura 10: Comparação entre a resistência média apresentada. **Fonte:** O autor (2019)



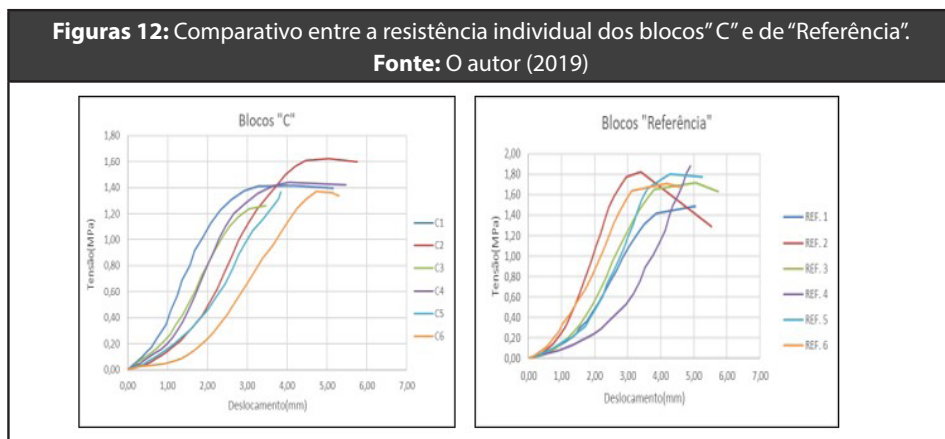
As Figuras 11 e 12 representam os gráficos de Tensão x Deslocamento individual dos blocos A (25%), B (20%), C (15%) e Referência (0%) com incorporação de lodo de ETA.

Para os blocos “A”, com adição de 25% de lodo em substituição a areia, observa-se que a maioria se mantém com uma tensão próxima a 2 MPa, e que o bloco A3, apresenta um valor acima de 2,5 MPa e o bloco A4 com valor de 1,5 MPa, mas com um deslocamento maior quando comparado com o bloco A3.

Para os blocos “B” com adição de 20 %, o bloco B2, apresentou um valor para a tensão um pouco acima de 1 MPa, enquanto o B3 e B5, apresentam tensão superior a 2 MPa, e apenas o deslocamento do bloco B5 tenha sido um pouco menor em relação aos demais blocos.



Na Figura 12, é possível observar que embora os blocos “C”, com adição de 15% de lodo em substituição a areia, tenham apresentado uma tensão menor em relação aos blocos “A”, “B”, e “Referência”, estes mantiveram uma padronização quanto a tensão suportada, com uma oscilação de apenas 0,40MPa. São expressos ainda os comparativos de tensão x deslocamento, para os blocos de “referência”, com 0 % de adição de lodo, que apresentam uma uniformidade entre estes em relação a tensão um pouco abaixo de 2 MPa, mas com valores acima de 1,6 MPa, e apenas o bloco REF.1, apresentou uma tensão abaixo de 1,5 MPa.



4. Conclusão

Os resultados apontam que o lodo de ETA de Dourados/MS, nas proporções de 0%, 15%, 20% e 25%, tem viabilidade técnica para ser empregado na confecção de blocos de concreto de vedação utilizados na construção civil, em substituição ao agregado miúdo (areia), visando uma destinação correta à um resíduo sólido perigoso.

Os testes realizados apontaram que há aumento no percentual de água à medida que se incrementa a concentração de lodo no bloco, contudo, não ultrapassando o limite estabelecido na NBR 6136 (ABNT, 2007).

Nas maiores concentrações de lodo observaram-se os maiores índices de absorção de água, o que indica um maior índice de vazios. Contudo, o fato não afetou a resistência do bloco, como observado no teste de resistência a compressão, apontando que com o aumento da concentração, há o incremento da resistência do bloco. Tal fato pode ser explicado devido à presença, no lodo da ETA, de coagulantes e catalizadores utilizados durante o processo de coagulação e floculação no tratamento de água, elementos estes que também estão muitas vezes presentes na fabricação do concreto.

5. Referências

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000200003>.
- ARAÚJO, F. C. ALBUQUERQUE, A. ANGELIM, R.R. Caracterização física do resíduo de uma estação de tratamento de água para sua utilização em materiais de construção. **Revista Cerâmica**, v. 61, p. 450-456, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132015613601931>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação TÉCNICAS, A. B. D. N. Brasil: 71 p. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7184**: Análise Granulométrico – Solos. Rio de Janeiro 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.
- BITTENCOURT, S. et al. Aplicação de lodos de estações de tratamentos de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000300008>.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. 24º Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto. Brasília: SNIS, 2019.
- DOURADOS. **Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB**. Dourados, p. 190. 2019. Disponível em: http://www.dourados.ms.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/PRODUTO_6_INDICADORES_PMSB_DOURADOS.pdf. Acesso em 20 jan. 2019.
- HOPPEN, C. et al. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Revista Cerâmica**, v. 51, n. 318, p. 85-95, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132005000200003>.

PINHEIRO, B. C. A.; ESTEVÃO, G. M.; SOUZA, D. P. Lodo proveniente da estação de tratamento de água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: caracterização do lodo. **Revista Matéria** (Rio de Janeiro), v. 19, p. 204-211, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762014000300003>.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influence of the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks. **Revista Cerâmica**, v. 59, n. 352, p. 551-556, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132013000400010>.