

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **UTILIZAÇÃO DE LODO DE ETA EM TIJOLOS CERÂMICOS**

*Vicentini, C. M.<sup>1</sup>; Jabur, A. S.*

**Abstract:** Currently, a large portion of the water used for urban supply is treated in Water Treatment Plants (WTP), typically employing the complete cycle process. As a result, a by-product known as decanter sludge is generated. A common practice for the disposal of this waste is discharge into water bodies, which, if conducted improperly, can lead to water and soil contamination. As an environmentally sustainable alternative, the incorporation of this sludge into the production of red ceramics, particularly solid bricks, has been proposed. This study aimed to evaluate the effects of adding sludge in different proportions — 10%, 20%, 50%, and 100% — in the manufacturing of bricks. Compression strength, leaching, and X-ray fluorescence (XRF) tests were conducted. The results indicated that sludge addition compromises the mechanical strength of the bricks, considering that the minimum required value is 4.0 MPa. However, the study also identified satisfactory strength values in some samples, low shrinkage, and the release of aluminum from the clay. Based on the data obtained, it is concluded that the incorporation of sludge in small proportions is feasible and can be considered an environmentally sound solution for its reuse.

**Resumo:** Atualmente, grande parte da água utilizada no abastecimento urbano passa por Estações de Tratamento de Água (ETA), geralmente do tipo ciclo completo. Como resultado desse processo, é gerado um resíduo conhecido como lodo de decantação. Uma prática comum para a disposição desse resíduo é o descarte em corpos d'água, o que, se feito de forma inadequada, pode causar a contaminação da água e do solo. Como alternativa ambientalmente sustentável, destaca-se a incorporação desse lodo na produção de cerâmica vermelha, especialmente em tijolos maciços. Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos da adição do lodo em diferentes proporções — 10%, 20%, 50% e 100% — na fabricação de tijolos. Para isso, foram realizados ensaios de resistência à compressão, lixiviação e fluorescência de raios X (FRX). Os resultados indicaram que o lodo compromete a resistência mecânica dos tijolos, já que os valores mínimos exigidos são de 4,0 MPa. No entanto, o estudo também identificou bons índices de resistência para algumas amostras, baixa retração e a liberação de alumínio pela argila. Com base nos dados obtidos, conclui-se que a incorporação do lodo em pequenas proporções é viável e pode ser considerada uma solução ecologicamente correta para o seu reaproveitamento.

**Palavras-Chave** – Tijolo ecológico; Estação de tratamento de água; Lodo.

### **INTRODUÇÃO**

O crescimento populacional causado pela revolução industrial gerou uma maior demanda de água potável. Juntamente com isso, foi criada uma necessidade de instalações de tratamento cada vez maiores, o que incentivou pesquisas visando melhorias no processo (Ferreira Filho, 2017).

<sup>1)</sup> Afiliação: Times New Roman, 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail

Em 2013, o Brasil apresentava 7500 estações de tratamento projetadas, sendo a maioria de ciclo completo. Estas estações geram como resíduos o lodo de decantadores e água de lavagem de filtros (Achon; Barroso; Cordeiro, 2013).

A resolução do CONAMA nº 357/2005 estabelece os parâmetros que devem ser atendidos para o lançamento de efluentes em corpos d'água. De acordo com essas diretrizes, o lodo não pode ser descartado sem tratamento prévio, pois possui elevado teor de sólidos sedimentáveis.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade da incorporação do lodo de ETA em cerâmica vermelha como solução para a problemática da destinação final deste lodo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida utilizando o lodo da ETA da cidade de Apucarana - PR, a qual é gerenciada pela SANEPAR e realiza tratamento convencional com o coagulante PAC. O lodo foi fornecido já desidratado, não sendo necessária a realização de filtração. O lodo passou pela secagem em estufa a 100°C por 24 horas seguindo para a Trituração.

O processo de Trituração foi realizado com um moedor, passando por três vezes e em seguida foi peneirado pela peneira 600 µm. Após peneirado, foi realizada a separação de 3 amostras de 1,1g de lodo para a realização da análise de Fluorescência de raio X (FRX).

### FABRICAÇÃO DOS BLOCOS

Foram confeccionados moldes de madeira para a realização dos blocos (Figura X). Estes moldes apresentavam como dimensões internas de 9,5 x 4,5 x 4,5 cm, sendo dimensões proporcionais ao bloco de 9,0 x 9,0 x 19,0 cm encontrado na NBR 15270-1.

Figura 1 – Moldes dos tijolos.



Para os blocos foram determinadas 5 porcentagem de lodo para serem utilizadas, conforme apresentado na Tabela 1, e para cada foram realizados 3 blocos para testes totalizando 15 blocos no total.

Tabela 1 – Porcentagem de Lodo utilizadas

Traços	Lodo	Argila
1	0%	100%
2	10%	90%
3	205	80%
4	50%	50%
5	100%	0%

Os blocos foram secos naturalmente por 28 dias em ambiente laboratorial e, em seguida, foram secos em estufa a 100°C durante 24 horas. Após a secagem os blocos passaram por medição e seguiram para a queima.

A queima foi realizada em mufla, sendo programada para atingir 1000°C no período de 1 hora e permanecer por 1 minuto para obter a vitrificação dos blocos. Após realizar a programação a mufla é desligada automaticamente e os blocos permaneceram na mesma para que ocorresse de forma natural o esfriamento. A Figura 2 apresenta um fluxograma de todo o processo.

Figura 2 – Fluxograma.



## ENSAIOS

Após a vitrificação, os blocos foram submetidos ao teste de resistência à compressão. O teste foi realizado com deslocamento máximo permitido de 18mm e a aplicação da força ocorreu na maior face do bloco.

Por fim, foi realizado o ensaio de lixiviação para todos os cinco traços. A realização do ensaio foi separada em três etapas: determinação do pH da amostra, preparo de soluções e preparação do lixiviado. Duas soluções são utilizadas dependendo do pH da amostra, são elas: Solução 1 - 5,7 ml de ácido acético glacial, 64,3 mL de NaOH 1N e água deionizada até completar 1 litro ( $\text{pH} = 4,93 \pm 0,05$ ); Solução 2 - 5,7 ml de ácido acético glacial e água deionizada até completar 1 litro ( $\text{pH} = 2,88 \pm 0,05$ ).

Com as duas soluções preparadas, são realizadas as medidas de pH das amostras. Para isso, foi transferido 5 gramas da amostra para um Becker com 96,5 ml de água deionizada que seguiu

para agitação por 5 minutos em agitador magnético e, em seguida, mediu-se o pH. Caso o pH seja menor que 5, utiliza-se a solução 1 e caso seja maior que 5, adiciona-se 3,5 ml de ácido clorídrico 1N e aquece a mistura a 50°C por 10 minutos. Após o resfriamento, realiza-se novamente a medição de pH, caso o pH se mantenha maior que 5, utiliza-se a solução 2 e caso seja menor utiliza-se a solução 1.

Após a determinação de qual solução utilizar, são pesados 50 gramas da amostra e transferida para o frasco de lixiviação com 1 litro de solução 1 ou 2. O frasco permanece em agitação por 18 horas com 30 rpm em temperatura ambiente (Figura 3). Após este período foram realizadas análises de FRX e quantidade de alumínio por colorimetria.

Figura 3 – Agitação dos frascos de lixiviação.



## RESULTADOS

### CONFECÇÃO DOS TIJOLOS

Inicialmente foi realizada uma análise FRX em três amostras de lodo, tendo os valores obtidos apresentados na Tabela 2. Três principais substâncias foram notadas: óxido de alumínio, óxido de ferro e dióxido de silício.

Tabela 2 – Porcentagem de Lodo utilizadas

Óxidos	Amostra 1 (%)	Amostra 2 (%)	Amostra 3 (%)	Média
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,03	31,54	31,04	31,20
SiO <sub>2</sub>	19,39	19,75	19,69	19,61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,94	0,92	0,91	0,92
SO <sub>3</sub>	0,18	0,18	0,17	0,18
Cl	0,17	0,18	0,17	0,17
K <sub>2</sub> O	0,28	0,27	0,27	0,27
CaO	0,96	0,97	0,93	0,95
TiO <sub>2</sub>	2,08	2,08	2,11	2,09
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	0,17	0,17	0,17
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31	1,30	1,31	1,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43,02	42,28	42,86	42,72
CuO	0,05	0,05	0,05	0,05
ZrO <sub>2</sub>	0,04	0,00	0,00	0,01
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38	0,29	0,31	0,33

O óxido de alumínio está presente devido a utilização do coagulante PAC por parte da SANEPAR no tratamento de água realizado na ETA. O óxido férreo é justificado pelo solo da região que, em maioria, se classifica como Nitossolo Vermelho. Por fim, o dióxido de silício é encontrado devido ao quartzo presente no solo, originado de rochas basálticas.

Para moldar os blocos, foi realizado inicialmente o 100% argila e em seguida calculado os traços. Os cinco traços realizados são:

- 1: 308 g de argila + 124 ml de água;
- 2: 36 g de lodo + 322 g de argila + 144 ml de água;
- 3: 65 g de lodo + 262 g de argila + 132 ml de água;
- 4: 154 g de lodo + 154 g de argila + 108,5 ml de água;
- 5: 200 g de lodo + 50 ml de água;

Após a moldagem, os 15 blocos ficaram por 28 dias em ambiente laboratorial para secagem natural e em seguida, permaneceram por 24h em estufa a 100°C. Após a secagem completa, os blocos foram medidos para identificar o índice de retração (Tabela 3). Em seguida, os blocos foram queimados em estufa visando a vitrificação dos mesmos. Após a queima e o resfriamento dos blocos foi realizada a medição dos blocos para identificação do índice de retração, apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Índice de retração.

MISTURAS	BLOCO SECO		BLOCO QUEIMADO	
	VOLUMÉTRICA	MÉDIA	VOLUMÉTRICA	MÉDIA
<b>100% A</b>	1	16,4%		1,1%
	2	10,5%	13,8%	2,3%
	3	14,5%		3,4%
<b>90% A</b>	1	9,5%		1,1%
	2	14,5%	12,2%	3,4%
	3	12,5%		3,4%
<b>80% A</b>	1	13,5%		0,0%
	2	12,6%	13,2%	0,0%
	3	13,5%		2,3%
<b>50% A</b>	1	10,5%		4,5%
	2	10,5%	8,8%	2,2%
	3	5,3%		4,4%
<b>100% L</b>	1	5,3%		-
	2	7,4%	7,7%	22,7%
	3	10,5%		-

Analizando os índices para o bloco seco observou-se uma relação com a proporção da argila, ou seja, quanto mais lodo o bloco apresentar, menor será a retração. Já para os blocos queimados, não foi possível identificar uma relação, apenas se destacou positivamente o bloco de 80% argila que mostrou uma pequena retração, o que indica um equilíbrio das propriedades dos materiais.

#### RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Com a prensa foi obtido valores de força aplicada, ao calcular as áreas de cada bloco foi possível obter valores para as tensões. A tabela 4 apresenta os valores máximos para cada caso.

Tabela 4 – Índice de retração.

	CORPO DE PROVA	TENSÃO MÁX (MPa)	TENSÃO MÁX MÉDIA (Mpa)	DESVIO PADRÃO	REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA
100% A	CP1	3,462			-
	CP2	1,546	2,74	1,04	
	CP3	3,214			
90% A	CP1	2,154			
	CP2	1,954	2,12	0,15	23%
	CP3	2,249			
80% A	CP1	1,562			
	CP2	1,482	1,49	0,06	45%
	CP3	1,438			
50% A	CP1	0,395			
	CP2	0,435	0,41	0,02	85%
	CP3	0,392			

O teste indicou que a resistência diminui conforme o lodo é implementado em maior quantidade, o lodo torna os blocos mais frágeis. Observando os valores, os blocos de 90% argila apresentaram o melhor resultado, uma redução de 23% de resistência e um baixo desvio padrão.

A NBR 15270 (ABNT, 2023) estabelece uma resistência mínima para tijolos maciços sem função estrutural 4,0 MPa. Comparando os valores obtidos, percebe-se que nenhum dos blocos seria aprovado para uso.

#### ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO

Após o teste de resistência, uma pequena parte dos resíduos de cada bloco foi selecionada para realizar o ensaio de lixiviação. O teste foi realizado nas quatro misturas que passaram pela imprensa.

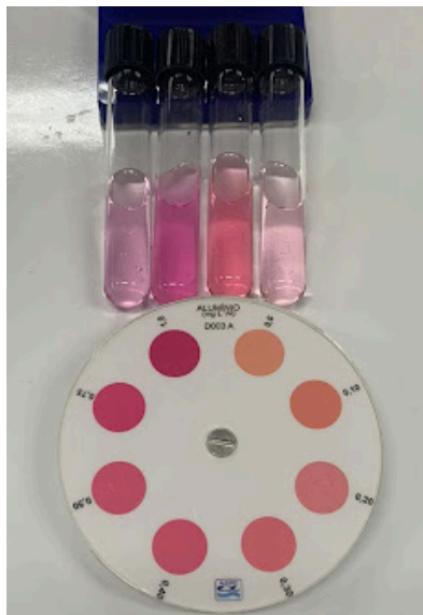
As amostras foram diluídas em água deionizada para a medição do pH e, por apresentarem pH superior a 6, foi necessária a adição de hidróxido de sódio e repetir a medição. Para todas as amostras, obteve-se um pH básico na faixa entre 11 e 12.

Com o pH determinado, as soluções foram preparadas e as amostras seguiram para agitação por 24 horas. Após o período, foi realizada a medição de alumínio liberado por meio da colorimetria, conforme Figura 3, e os valores obtidos estão indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Concentração de alumínio solubilizado.

Amostras	AI (mg/L)
100% A	0,5
90% A	0,625
80% A	0,45
50% A	0,25

Figura 3 – Agitação dos frascos de lixiviação.



A norma NBR 10004 (ABNT, 2004) indica como limite máximo permitido de alumínio 0,2 mg/L. Ao comparar com os resultados, nenhuma amostra se encontra abaixo do valor permitido e, portanto, não seria permitido o uso.

Visando uma melhor análise, foram realizadas análises de FRX e como resultado obteve-se os valores apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Teste de FRX no lixiviado.

Óxidos	100% A	90% A	80% A	50% A
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,29	21,23	23,13	-
SiO <sub>2</sub>	64,82	59,88	55,92	53,93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,12	6,32	9,85	23,19
SO <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,42	0,00
K <sub>2</sub> O	8,07	6,32	4,40	4,20
CaO	0,53	1,31	1,62	4,13
TiO <sub>2</sub>	1,09	0,94	0,79	1,77
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,00	0,00	0,00
MnO <sub>2</sub>	0,02	0,03	0,02	0,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,98	3,83	3,66	11,89
ZnO	0,01	0,00	0,00	0,00
SnO <sub>2</sub>	0,03	0,06	0,08	0,32
TeO <sub>2</sub>	0,03	0,05	0,08	0,34
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,03	0,05	0,10

O bloco 100% argila apresentou um valor elevado para Óxido de Alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) indicando uma presença de alumínio na argila. Ao considerar este valor como padrão e reavaliando os valores obtidos previamente, é possível afirmar que o bloco 90% argila apresentou um aumento de 0,125 mg/L de alumínio.

Sabendo que o aumento da liberação é menor que o valor limite estipulado pela norma, levanta-se a hipótese de que, ao utilizar uma argila que não apresenta 34% senta essa liberação, o alumínio liberado pela implementação de 10% de lodo não se torna um problema.

## CONCLUSÃO

Este trabalho se mostra de extrema importância pois apresenta uma forma de transformar em insumo um resíduo. A utilização de lodo de ETA em cerâmica é uma solução sustentável que auxilia as companhias de saneamento com a disposição final e proporciona um valor econômico ao resíduo.

Analizando os resultados obtidos no trabalho, conclui-se que os blocos produzidos não seriam liberados para utilização já que não atenderam os valores estipulados como mínimos pela NBR 15270 (ABNT, 2023). Apesar disto, o teste de resistência à compressão apresentou resultados promissores e possibilitaram a identificação de uma relação da resistência com o teor de lodo.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2023). ABNT NBR 15270: *Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). ABNT NBR 10004: *Resíduos sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). ABNT NBR 10005: *Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*. Rio de Janeiro.
- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. (2013). “*Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro*”. Eng. Sanit. Ambient, v. 18, n. 2, pp. 115 - 122.
- FERREIRA FILHO, S. S. (2017). *Tratamento de água: concepção, projeto e operações de estações de tratamento*. Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Rio de Janeiro-RJ, 463 p.