

Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento

(Influence of the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks)

L. P. Rodrigues, J. N. F. Holanda

*Grupo de Materiais Cerâmicos, LAMAV-CCT, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Av. Alberto Lamego 2000, Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil 28013-602
larapessin@hotmail.com, holanda@uenf.br*

Resumo

As estações de tratamento de água são unidades industriais empregadas em grande escala no tratamento de água doce bruta para o consumo humano. No entanto, o processo de tratamento de água bruta gera enorme volume de lodo que necessita ser descartado. No Brasil este lodo tem sido descartado principalmente nos recursos hídricos mais próximos, resultando em problemas ambientais, econômicos e sociais. Neste trabalho foi feito um estudo objetivando avaliar a influência da adição do lodo de estação de tratamento de água (ETA) sobre as propriedades tecnológicas de tijolo solo-cimento para uso na construção civil. As matérias-primas utilizadas foram solo, lodo de ETA e cimento Portland. Corpos cimentício cilíndricos contendo até 5% em peso de lodo de ETA em substituição parcial do solo foram preparados por prensagem uniaxial e curados em câmara úmida por 28 dias. Os tijolos solo-cimento foram caracterizados em termos de absorção de água, massa específica bulk e resistência à compressão simples. Análise microestrutural dos tijolos curados foi acompanhada por microscopia confocal e difração de raios X. Os resultados indicaram que a incorporação do lodo de ETA influencia diretamente nas propriedades tecnológicas dos tijolos solo-cimento. Além do mais, o lodo de ETA estudado pode ser incorporado em tijolo solo-cimento numa quantidade de até 1,25% em peso como substituto parcial do solo natural.

Palavras-chave: lodo de ETA, tijolo solo-cimento, propriedades, reciclagem.

Abstract

The water treatment plants are industrial units used in large scale in the treatment of raw fresh water for human consumption. However, the process of raw water treatment generates large volume of sludge that needs to be discarded. In Brazil this sludge has been disposed mainly on water resources closer, resulting in environmental, economic and social problems. In this work, a study was done to evaluate the influence of the addition of sludge of water treatment plant (WTP) on the technological properties of soil-cement bricks for use in civil construction. The raw materials used were soil, WTP sludge, and Portland cement. Cylindrical pieces containing up to 5 wt.% of WTP sludge in partial replacement of soil were prepared by uniaxial pressing and cured in a humid chamber for 28 days. The soil-cement bricks were characterized in terms of water absorption, bulk density, and compressive strength. Microstructural analysis of the cured bricks was monitored by confocal microscopy and X-ray diffraction. The results indicated that the incorporation of WTP sludge directly influence the technological properties of soil-cement bricks. Moreover, the WTP sludge studied can be incorporated into soil-cement brick in an amount of up to 1.25 wt.% as partial replacement of natural soil.

Keywords: WTP sludge, soil-cement brick, properties, recycling.

INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA) são empregadas em larga escala no tratamento de água doce bruta, no sentido de obter água com qualidade satisfatória para o consumo humano de acordo com padrão de água potável e propriedades estabelecidas pela organização mundial de saúde [1]. No entanto, o intenso processo de tratamento químico e físico [2, 3] da água bruta produz uma quantidade significativa de lodo de ETA (resíduo). Em geral, as características química e física do lodo de ETA variam com a natureza da água captada, processos unitários e produtos químicos aplicados no tratamento da água.

O lodo de ETA é um material de resíduo não biodegradável

rico em minerais de silicatos e matéria orgânica, acrescidos dos produtos resultantes dos reagentes químicos aplicados à água bruta durante o tratamento. Do ponto de vista ambiental, o lodo de ETA é classificado como sendo resíduo Classe IIA - Não Inerte [1]. De forma que o descarte final de lodo de ETA representa uma operação complexa com implicações técnica, econômica e social. No Brasil os lodos de ETA têm sido, ao longo dos anos, descartados indiscriminadamente na natureza, principalmente em rios. Por outro lado, a nova legislação ambiental brasileira, mais restritiva, obriga as empresas a destinar adequadamente qualquer resíduo poluente gerado [4]. Neste contexto, diversos métodos alternativos têm sido empregados para descarte final de lodos de ETA: lançamento nas redes coletoras, em lagoas

com largo tempo de detenção, aplicação em aterro sanitário de lixo urbano, adubação e aproveitamento de subprodutos. No entanto, a gestão do lodo de ETA por tais métodos é, via de regra, uma atividade complexa com custos operacionais elevados.

Nos últimos anos o setor de cerâmica tem se tornado uma alternativa promissora para o descarte final de resíduos poluentes [5-8]. Isto é decorrente do fato de que as massas cerâmicas utilizadas são por natureza heterogênea, principalmente aquelas usadas na produção de produtos cerâmicos para construção civil. No campo da cerâmica o lodo de ETA tem sido avaliado principalmente como uma matéria-prima alternativa para fabricação de cerâmica vermelha [9-12]. No entanto, o uso de lodo de ETA na produção de tijolo solo-cimento tem sido pouco estudado [13, 14], apesar de sua importância ambiental e econômica. O tijolo solo-cimento é um produto cerâmico resultante da mistura de solo arenoso, cimento e água em proporções pré-determinadas, o qual apresenta após cura bom desempenho termo-acústico, resistente, durável e de baixo custo [15]. Além disso, o tijolo solo-cimento não precisa ser queimado, é autoencaixável e dispensa acabamento.

Este trabalho tem por objetivo principal estudar a influência da adição do lodo de ETA proveniente da região de Campos dos Goytacazes, RJ, nas propriedades tecnológicas de tijolo solo-cimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram preparados quatro traços de solo-cimento contendo até 5% em peso de lodo de ETA em substituição parcial do solo (Tabela I). Foi utilizado um traço padrão de 10:1 (solo:cimento) de acordo com recomendação da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [16]. A amostra de lodo utilizada foi coletada na ETA de Campos dos Goytacazes, RJ. O lodo de ETA in natura apresentava-se na forma de lama. Após secagem a 110 °C durante 48 h, o lodo seco foi destorroado e peneirado para a fração < 35 mesh (425 µm). Na preparação dos traços foi utilizado um solo proveniente da região de Campos dos Goytacazes, RJ, o qual foi submetido à secagem a 110 °C durante 24 h, destorroado e peneirado para fração < 4 mesh (4,8 mm). Ainda, foi usado cimento Portland tipo CP III-40RS.

A composição química das matérias-primas foi determinada por espectroscopia de fluorescência de raios X

Tabela I - Composição dos traços estudados (% em peso).
[Table I - Composition of the traits studied (wt.%).]

Traços	Cimento	Solo	Lodo de ETA
ML1	10,00	90,00	0,00
ML2	10,00	88,75	1,25
ML3	10,00	87,50	2,50
ML4	10,00	85,00	5,00

por energia dispersiva (Shimadzu, EDX-700). A perda ao fogo (PF) das amostras calcinadas num forno elétrico foi determinada de acordo com $PF = (Ms - Mc)/Ms \times 100$, na qual Ms é a massa da amostra seca em 110 °C e Mc é a massa da amostra calcinada a 1000 °C durante 2 h. A matéria orgânica foi determinada de acordo com o método Walkley-Black.

A análise mineralógica qualitativa das amostras foi feita por difração de raios X (Shimadzu, XRD-7000), com radiação monocromática de CuK_{α} , a 1,5° (2θ) por min.

Análise granulométrica das matérias-primas foi determinada por combinação de procedimentos de peneiramento e sedimentação de acordo com a norma NBR 7181-84. A massa específica real dos grãos foi determinada de acordo com a norma NBR 6508-84. Os limites de consistência de Atterberg foram determinados de acordo com as normas NBR 6459-84 (Limite de Liquidez) e NBR 7180-84 (Limite de Plasticidade).

As matérias-primas secas nas proporções dadas na Tabela I foram misturadas em um misturador cilíndrico de laboratório durante 30 min. Em seguida as misturas de solo-lodo de ETA-cimento foram umedificadas com 16% de água.

Corpos cimentício cilíndricos ($\phi = 37,17$ mm) foram preparados por prensagem uniaxial a 18 MPa. Após conformação, os corpos de solo-cimento foram curados numa câmara úmida sob condições de 95% de umidade a 24 °C por 28 dias.

As seguintes propriedades tecnológicas dos corpos cimentício foram determinadas utilizando-se procedimentos padronizados: massa específica bulk, absorção de água e resistência à compressão. A microestrutura da superfície de fratura das amostras foi examinada via microscopia confocal utilizando um microscópio confocal de varredura a laser 3D (Olympus, Lext OLS 4000). A identificação das fases cristalinas após cura foi feita por meio de difração de raios X.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os difratogramas de raios X das amostras de lodo de ETA e do solo arenoso são apresentados nas Figs. 1 e 2, respectivamente. Do ponto de vista mineralógico, o lodo de ETA e solo utilizados são, aparentemente, muito similares. As fases cristalinas identificadas em ambas às amostras foram: caulinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), quartzo (SiO_2), gibsitita ($Al(OH)_3$), e goetita ($FeO(OH)$). Observa-se também indício da presença de mineral micáceo. No entanto, importantes diferenças são observadas nas intensidades dos picos de difração da caulinita e quartzo. O lodo de ETA apresenta picos de caulinita mais intensos, enquanto que picos de quartzo são mais intensos no solo. Este resultado está de acordo com a literatura [17], onde a caulinita é o principal mineral encontrado no lodo de ETA proveniente da região de Campos dos Goytacazes, RJ. Já o solo foi coletado numa empresa cerâmica local como barro “fraco” rico na fração areia, ou seja, quartzo livre.

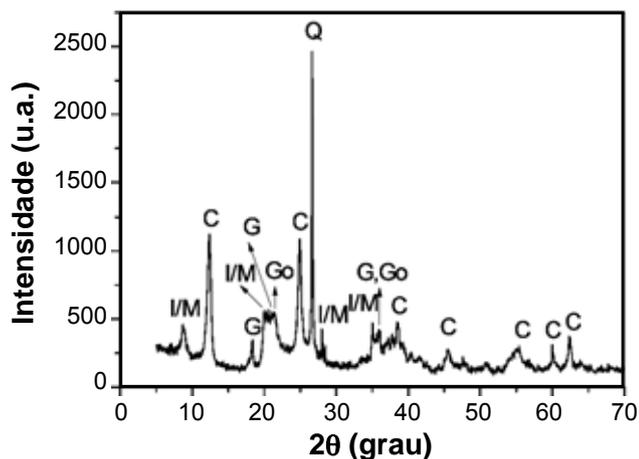


Figura 1: Difratoograma de raios X do lodo de ETA. C - caulinita; G - gibsite; Go - goetita; I/M = Illita/Mica; Q - quartzo.

[Figure 1: X-ray diffraction pattern of the WTP sludge. C - kaolinite; G - gibbsite; Go - Goethite; I/M - illite/mica; Q - Quartz.]

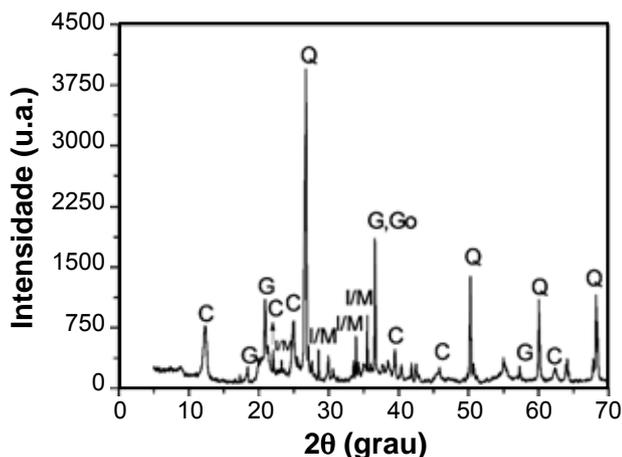


Figura 2: Difratoograma de raios X do solo. C - caulinita; G - gibsite; Go - goetita; I/M - illita/mica; Q - quartzo.

[Figure 2: X-ray diffraction pattern of the soil. C - kaolinite; G - gibbsite; Go - goethite; I/M - illite/mica; Q - quartz.]

A Tabela II apresenta os resultados das composições químicas do lodo de ETA e solo utilizados. O lodo de ETA e o solo são quimicamente compostos principalmente por Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 , que correspondem a cerca de 70,98% e 82,73%, respectivamente. Apesar disso, a composição química destes materiais apresenta importantes diferenças. A relação $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ para o lodo de ETA é da ordem de 0,95, enquanto que para o solo é da ordem de 1,63. Isto corrobora os resultados da análise de difração de raios X (Figs. 1 e 2). Pode-se observar também na Tabela II que o lodo de ETA apresenta alta perda ao fogo (24,5%). Isto se deve principalmente a elevada presença de matéria orgânica na amostra de lodo de ETA. De fato, o lodo de ETA utilizado neste trabalho contém uma quantidade significativa de matéria orgânica da ordem de 25,85%.

Na Fig. 3 são apresentadas as curvas de distribuição de tamanho das partículas do lodo de ETA e solo utilizados. Do ponto de vista granulométrico, o lodo de ETA e o solo

Tabela II - Composição química (% em peso) das matérias-primas.

[Table II - Chemical composition (wt.%) of the raw materials.]

Composição	Resíduo de ETA	Solo arenoso
Al_2O_3	31,18	28,63
SiO_2	29,59	46,70
Fe_2O_3	10,21	7,40
SO_3	1,61	2,00
K_2O	1,27	3,80
TiO_2	1,04	2,21
MnO	0,14	0,07
CaO	0,34	0,98
V_2O_5	0,09	0,13
CuO	-	-
ZrO_2	0,01	0,24
Rb_2O	-	-
ZnO	0,02	0,02
Y_2O_3	-	0,01
SrO	-	0,01
Perda ao fogo	24,50	7,80
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	0,95	1,63

são também muito diferentes. O lodo de ETA apresenta 35% das partículas na faixa de tamanho fração argila ($< 2 \mu\text{m}$), 62% de silte ($2 \mu\text{m} \leq x < 63 \mu\text{m}$) e 3% de areia fina ($63 \mu\text{m} \leq x < 600 \mu\text{m}$). A alta quantidade de partículas $< 2 \mu\text{m}$ está fundamentalmente relacionada à presença de argilominerais, principalmente de caulinita conforme mostrado na Fig. 1. Deve-se ressaltar que o alto teor de fração argila do lodo de ETA é problemático para a etapa de homogeneização da mistura solo-cimento e hidratação do cimento. O solo apresenta 22,4% de fração argila, 28,4% de silte e 49,2% de areia. Verifica-se que o solo apresenta alto percentual de partículas na fração areia, particularmente de partículas de quartzo livre conforme mostrado na Fig. 2. Isto é muito importante na preparação da mistura solo-cimento.

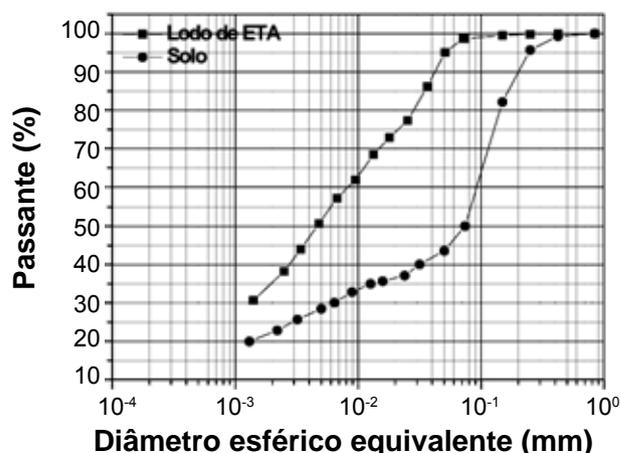


Figura 3: Distribuição de tamanho das partículas das matérias-primas.

[Figure 3: Particle size distribution of the raw materials.]

A presença de areia na composição do solo, a qual atua como material inerte e com função apenas de enchimento, permitirá a liberação de maior quantidade de cimento para aglomerar as partículas menores [18]. Além do mais, o solo arenoso utilizado apresenta composição granulométrica próxima daquela recomendada pela ABCP (fração argila: 10 a 20%; fração silte: 10 a 20%; e fração areia: 50 a 70%) para produção de tijolo solo-cimento. Os valores de massa específica real do lodo de ETA e solo são $2,50 \text{ g/cm}^3$ e $2,72 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Estes distintos valores refletem a composição mineralógica destes materiais (Figs. 1 e 2).

Na Tabela III são apresentados os valores dos limites de consistência de Atterberg para as matérias-primas utilizadas. Verifica-se que, do ponto de vista de plasticidade, as amostras são muito distintas. O lodo de ETA apresenta valor elevado de índice de plasticidade da ordem de 25,4%, o qual está relacionado principalmente ao fato de ser rico em partículas de caulinita e matéria orgânica. Já o solo apresenta valor de índice de plasticidade de 9,5%, o qual é típico de material rico em partículas de quartzo livre. De acordo com a ABCP [16], os solos adequados para fabricação de

tijolo solo-cimento devem apresentar valores de limite de liquidez $\leq 45\%$ e índice de plasticidade $\leq 18\%$. De forma que os solos ricos na fração areia e com baixa plasticidade são os mais indicados para tijolo solo-cimento, pois estabilizam com menor quantidade de cimento. Neste contexto, o solo utilizado neste trabalho atende aos critérios de plasticidade recomendados pela ABCP. Ao contrário, o lodo de ETA com alto índice de plasticidade certamente apresentará dificuldade para ser reutilizado na fabricação de tijolo solo-cimento.

A Fig. 4 apresenta os difratogramas de raios X dos corpos cimentício incorporados com até 5% em peso de lodo de ETA em substituição parcial do solo curados durante 28 dias. Análise mineralógica dos corpos cimentício indicou que as mesmas fases cristalinas foram identificadas,

Tabela III - Limites de consistência de Atterberg das matérias-primas (%).

[Table III - Atterberg consistency limits of the raw materials (%).]

Matéria-Prima	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índice de Plasticidade
Solo	27,9	18,4	9,5
Lodo de ETA	58,2	32,8	25,4

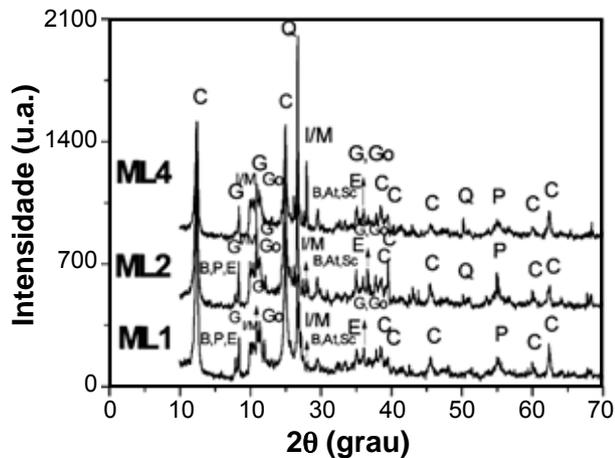


Figura 4: Difratogramas de raios X dos corpos cimentício incorporados com lodo de ETA após cura a 28 dias. C - caulinita; G - gibbsita; I/M - illita/mica; Q - quartzo; Go - goetita; B - Belita; P - Portlandita; Sc - silicato de cálcio hidratado; E - Etringita; At - aluminato tricálcico.

[Figure 4: X-ray diffraction patterns of cementitious bodies incorporated with WTP sludge after curing at 28 days. C - kaolinite; G - gibbsite; Go - goethite; I/M - illite/mica; Q - quartz; B - belite; P - portlandite; Sc - hydrated calcium silicate; E - ettringite; At - tricalcium aluminate.]

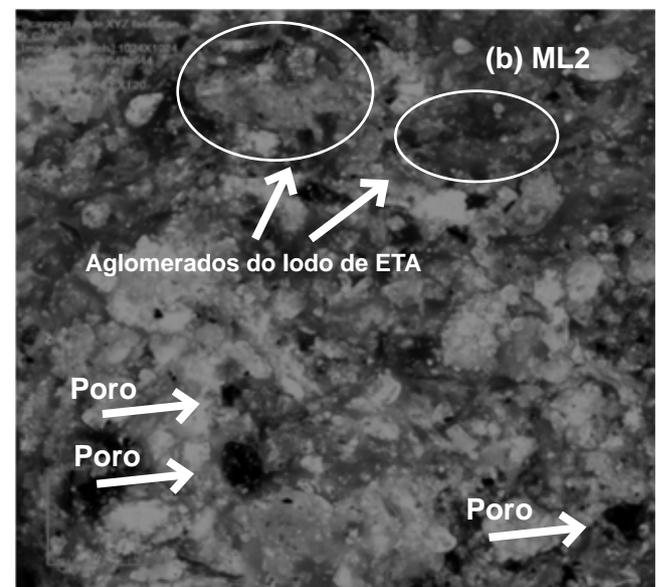
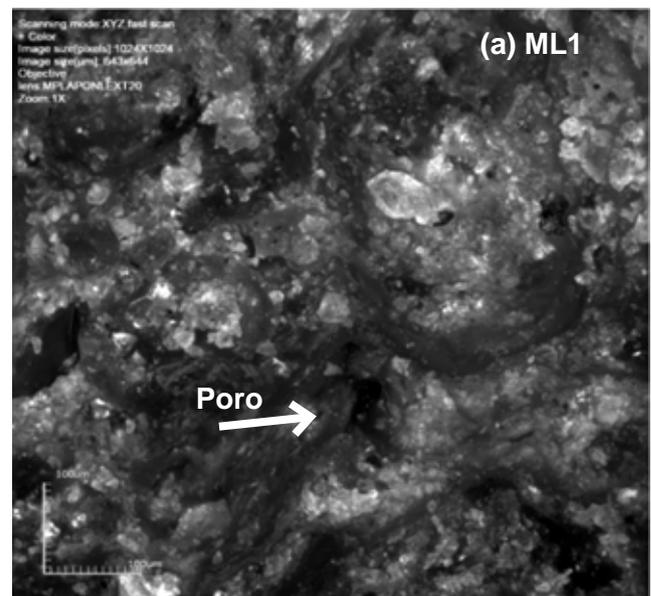


Figura 5: Micrografia óptica da superfície de fratura dos corpos cimentício: a) ML1; and b) ML2.

[Figure 5: Optical micrograph of the fracture surface of cementitious bodies: a) ML1; and b) ML2.]

independentemente da quantidade de lodo de ETA incorporado: caulinita, illita/mica, gibsita, quartzo, goetita, belita, etringita, portlandita, aluminato tricálcico e silicato de cálcio hidratado. No entanto, as intensidades dos picos de difração apresentam pequenas diferenças em relação à incorporação do lodo de ETA. Isto pode estar relacionado ao fato de que o lodo de ETA é rico em partículas finas de caulinita e matéria orgânica, que influenciam as reações de hidratação do cimento.

A Fig. 5 mostra a superfície de fratura observada via microscopia confocal das amostras ML1 (traço padrão isento de lodo) e ML2 (traço com 1,25% de lodo de ETA em substituição parcial do solo) curadas durante 28 dias. As amostras apresentam uma microestrutura com textura rugosa típica de misturas de solo-cimento. Nota-se também a distribuição entre as partículas solo/lodo e pasta de cimento hidratada constituída principalmente de portlandita, silicato de cálcio hidratado e etringita. No entanto, a superfície de fratura da amostra ML2, aparentemente, é ligeiramente mais porosa (ver setas). Pode-se observar que a microestrutura cimentícia apresenta aglomerados de lodo de ETA, que pode dificultar o processo de homogeneização da mistura das matérias-primas. Nota-se ainda que a pasta de cimento aparece em menor quantidade, o que pode estar relacionado com a alta capacidade de absorção de água do lodo de ETA, prejudicando possivelmente o processo de hidratação do cimento.

Os resultados das propriedades tecnológicas dos corpos cimentício curados durante 28 dias estão mostrados nas Figs. 6-8. Na Fig. 6 está mostrado o comportamento da porosidade aberta dos corpos cimentício avaliada em termos de absorção de água. Nota-se que a absorção de água é fortemente influenciada pela adição do lodo de ETA. Em geral, tem-se um aumento da absorção de água com a adição do lodo de ETA com concomitante diminuição da massa específica bulk (Fig. 7). Este comportamento está associado a dois efeitos principais: i) aumento da fração fina da mistura com incremento de partículas de argilomineral

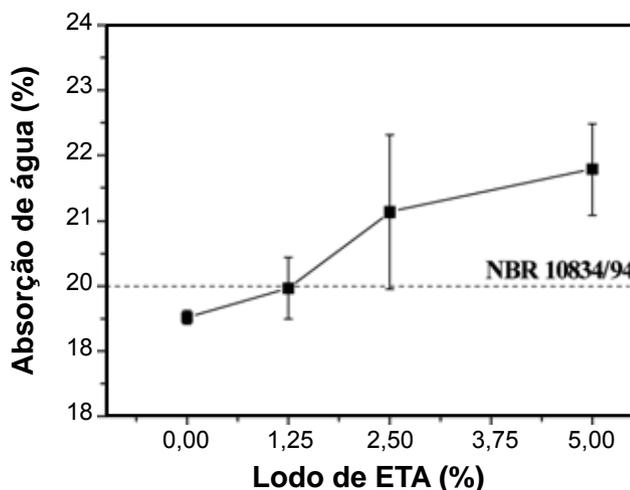


Figura 6: Absorção de água dos corpos cimentício.
[Figure 6: Water absorption of the cementitious bodies.]

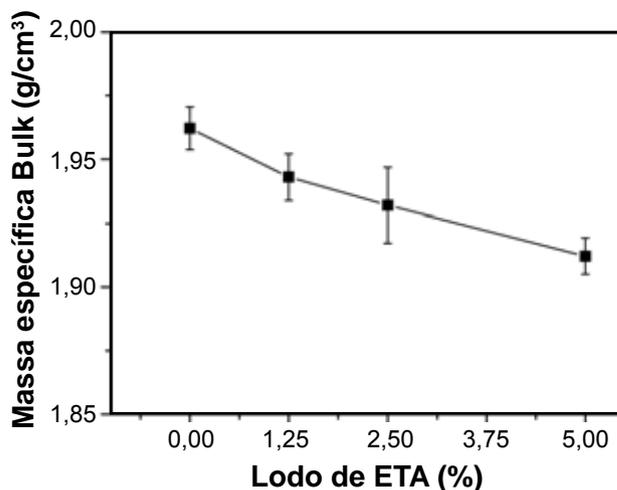


Figura 7: Massa específica bulk dos corpos cimentício.
[Figure 7: Bulk density of the cementitious bodies.]

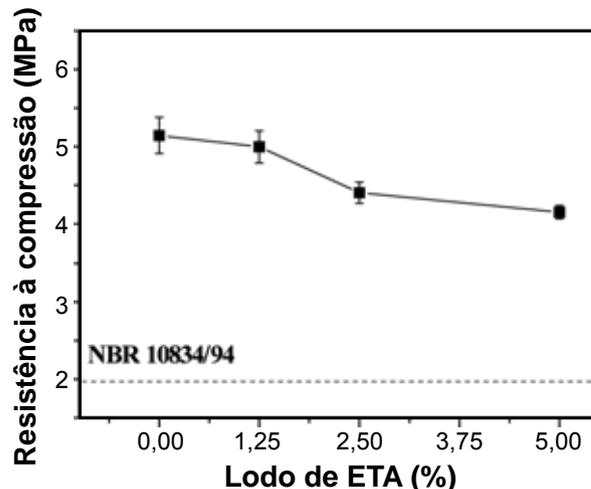


Figura 8: Resistência à compressão dos corpos cimentício.
[Figure 8: Compressive strength of the cementitious bodies.]

(principalmente caulinita) e silte; e ii) adição de matéria orgânica a mistura solo-cimento. Ressalta-se o fato de que o tipo de solo mais adequado para fabricação de tijolo solo-cimento é o arenoso, o qual favorece a liberação de maior quantidade de cimento para ligar as partículas menores. Assim, a substituição parcial do solo com lodo de ETA tende a aumentar o consumo de cimento. Por outro lado, o lodo de ETA também incrementa matéria orgânica na mistura, a qual tende a influenciar negativamente as reações de hidratação do cimento.

Na Fig. 8 é mostrado o comportamento da resistência à compressão simples dos corpos cimentício incorporados com lodo de ETA. Verifica-se que o comportamento da resistência mecânica é bem correlacionado com as demais propriedades físicas (Figs. 6 e 7). O efeito da adição do lodo de ETA é o de diminuir a resistência mecânica dos corpos cimentício. Isto se deve ao lodo de ETA que provavelmente influencia na hidratação do cimento, particularmente na completude das fases hidratadas do cimento. Estas fases, especialmente, os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H),

são os principais responsáveis pela resistência mecânica durante o processo de cura [19].

A absorção de água e resistência compressão são propriedades que, de acordo com a norma NBR 10834 [20], definem a qualidade de tijolos solo-cimento para uso na construção civil após cura durante 28 dias. Os valores médios especificados de absorção de água (AA) e resistência à compressão (RC) são: $AA \leq 20\%$ e $RC \geq 2$ MPa. Além disso, os valores individuais dos corpos cimentício devem apresentar $AA \leq 22\%$ e $RC \geq 1,7$ MPa. Neste estudo as especificações para tijolo solo-cimento foram alcançadas somente com adição de 1,25% em peso de lodo de ETA em substituição parcial ao solo. De forma que o lodo de ETA apresenta dificuldade para ser incorporado em grande quantidade na mistura solo-cimento. Apesar disso, o reuso de lodo de ETA em tijolo solo-cimento, mesmo que em pequena quantidade, representa uma contribuição importante devido ao menor consumo de matéria-prima natural (solo) e, também, por contribuir para evitar o impacto ambiental negativo causado pelo descarte final deste abundante material de resíduo.

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o lodo de ETA pode ser usado como uma matéria-prima alternativa de baixo custo em substituição parcial de até 1,25% em peso de solo na fabricação de tijolo solo-cimento. Foi demonstrado que o lodo de ETA e o solo apresentam características física, química e mineralógica muito distintas. A incorporação do lodo de ETA provocou alterações significativas nas propriedades tecnológicas (absorção de água, massa específica bulk e resistência compressão) dos corpos cimentício de solo-cimento. O lodo de ETA tende a aumentar o teor de partículas finas (principalmente de caulinita), matéria orgânica e plasticidade da mistura solo-cimento, o qual interfere na hidratação do cimento. Assim, o reuso de lodo de ETA em tijolo solo-cimento é muito limitado.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FAPERJ e CAPES pelo apoio para realização deste trabalho. Os autores também agradecem a empresa Águas do Paraíba pelo fornecimento do lodo de ETA e a Artocerâmica Sardinha pelo fornecimento do solo.

REFERÊNCIAS

- [1] E. M. S. Oliveira, Tese de Doutorado, UENF-PPGECM, Campos dos Goytacazes, RJ (2004).
- [2] M. J. Hammer, *Sistemas de abastecimento de águas e esgotos*, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, RJ (2000) 563p.
- [3] C. A. Richter, *Tratamento de lodos de estações de tratamento de águas*, Edgard Blücher, S. Paulo, SP (2001) 102p.
- [4] Lei N° 12.305 - *Política Nacional de Resíduos Sólidos*, Brasília, DF (2010).
- [5] M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo, C. Zanelli, *Waste Manag.* **29** (2009) 1945-1951.
- [6] C. E. Viana, D. P. Dias, R. P. R. Paranhos, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **56**, 337 (2010) 83-90.
- [7] M. I. Jones, L. Y. Wang, A. Abeynaike, D. A. Patterson, *Adv. Appl. Ceram.* **110**, 5 (2011) 280-286.
- [8] S. P. Raut, R. V. Ralegaonkar, S. A. Mandavgane, *Const. Build. Mater.* **25** (2011) 4037-4042.
- [9] I. S. S. Santos, M. V. V. Ramires, C. S. Kazmierczak, H. C. Silva, A. P. Kern, S. A. Camargo, *Anais 45° Cong. Bras. Cerâmica*, Florianópolis, SC (2001) cd rom, p.201-214.
- [10] E. M. S. Oliveira, V. G. Sampaio, J. N. F. Holanda, *Ind. Ceram.* **26**, 1 (2006) 23-28.
- [11] S. R. Teixeira, S. A. Souza, N. R. Souza, P. Aléssio, G. T. A. Santos, *Cerâmica* **52**, 323 (2006) 215-220.
- [12] E. M. S. Oliveira, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **54** (2008) 167-173.
- [13] C. A. Porras, R. L. Isaac, D. Morita, *Ciência e Ingeniería Noegrandina* **18**, 2 (2008) 5-28.
- [14] M. R. Silva, Diss. Mestrado, Faculdade de Aracruz, Aracruz, ES (2009).
- [15] F. R. Souza, Diss. Mestrado, UFSCar, S. Carlos, SP (2006).
- [16] Ass. Bras. Cim. Portland - ABCP, *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais: prática recomendada*, S. Paulo, SP (1988).
- [17] E. M. S. Oliveira, S. Q. Machado, J. N. F. Holanda, *Cerâmica* **50**, 316 (2004) 324-330.
- [18] Centro de Pesquisas e Desenvolvimento - CEPED, *Manual de construção com solo-cimento*, 3ª. Ed., ABCP, S. Paulo, SP (1984).
- [19] P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*, Editora Pini, S. Paulo, SP (1994).
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, *Bloco vazado de solo-cimento. Especificação. Método de ensaio*, ABNT NBR 10834, Rio de Janeiro, RJ (1994).
(Rec. 29/03/2013, Ac. 25/0502013)