

**III-581 - PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS COM ADIÇÃO DE  
RESÍDUOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA E DE EFLUENTES  
DE FÁBRICA DE PORCELANATO**

**Flávio de Carvalho Araújo** <sup>(1)</sup>

Arquiteto e Urbanista, Especialista em Gestão e Educação Ambiental, Mestrando em Construção Civil, Funcionário da Saneamento de Goiás e Professor Auxiliar na Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

**Paulo Sérgio Scalize**

Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP, Professor Adjunto na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

**Oswaldo Cascudo**

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil pela USP, Professor Adjunto na Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

**Antônio Albuquerque**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista, Doutor em Engenharia Civil pela UBI, Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade de Beira Interior, Covilhã, Portugal.

**Heitor Mendonça Reis**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Fued José Sebba, Nº1245 o – Jardim Goiás - Goiânia - Goiás - CEP: 74885-841 - Brasil - Tel: +55 (62) 3243-3546 - Fax: +55 (62) 3243-3300 - e-mail: **fcaraujo40@gmail.com**.

## RESUMO

O presente experimento teve o objetivo de avaliar o uso dos resíduos originados na Estação de Tratamento de Água (ETA) Eng<sup>o</sup>. Rodolfo José Costa e Silva e os resíduos obtidos na produção dos pisos de porcelana, aplicando-os na produção de tijolos ecológicos de solo-cimento. Na análise da viabilidade técnica, obedeceram-se às diretrizes das normas pertinente aos agregados, resíduos e tijolos produzidos, assim realizaram-se ensaios de caracterização física dos agregados, bem como do material produzido, que foram testados quanto à resistência mecânica e determinação da taxa de absorção de água. Os resultados dos ensaios permitem observar que os tijolos são tecnicamente viáveis e dessa forma é uma opção que contribui para a minimização impacto ambiental negativo, provocado pelo lançamento de resíduos de ETAs em mananciais e também colabora como uma alternativa à disposição dos resíduos da produção de porcelanato em aterros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de ETA, resíduo de porcelanato, reuso, tijolo, solo-cimento.

## INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETA's) geram resíduos durante a produção de água potável, principalmente nos filtros e nos decantadores, sendo denominados Resíduos de ETA (RETA). Esses resíduos são considerados como um problema ambiental, pois no contexto nacional, poucas ETA's possuem um sistema adequado de descarte sendo que o destino da maior parte desses resíduos são os mananciais próximos às estações. Na Indústria de pisos e revestimentos, algo semelhante ocorre no fabrico dos materiais, pois são gerados resíduos no processo de produção, no polimento e na retífica (corte) dos revestimentos de porcelana, denominados Resíduos da Produção do Porcelanato ou Resíduo do Processo de Polimento (RPP). LORENZI (2005) e SILVA (2013) destacam que o destino mais comum desses resíduos são aterros industriais licenciados, criados pelas próprias empresas do ramo, porém representam um relevante custo de transporte e destinação, além de não ser considerada uma maneira sustentável de disposição. Conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004), o RETA e o RPP são classificados como resíduos sólidos e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) determina que a fonte geradora dos resíduos devem tomar providências para a disposição, de forma que não prejudique o meio ambiente.

Alguns pesquisadores vêm estudando alternativas para o aproveitamento desses resíduos como matéria prima de materiais de construção. TARTARI *et al.* (2011) procederam a caracterização física do RETA proveniente

da ETA Tamanduá no estado do Paraná e encontraram baixo índice de plasticidade, elevada perda ao fogo que indica concentração de matéria orgânica, indicando que poderia inseri-lo em substituição parcial da argila para produção de cerâmicas vermelhas. OLIVEIRA *et al.* (2004) também indicaram o uso do RETA de Campos de Goytacazes do estado do Rio de Janeiro, depois de efetuarem a sua caracterização físico-química. VIEIRA *et al.* (2008) indicam que a aplicação em materiais cerâmicos deve ser em pequenos percentuais para o atendimento a norma. Já PAIXÃO *et al.* (2008) reportaram a utilização de até 10% de RETA em tijolos cerâmicos, sem prejuízo à resistência mecânica com leve diminuição da resistência à flexão dos corpos secos. Porém, SOUZA *et al.* (2008) avaliaram argilas com incorporações de RETA em percentuais de 0, 15 e 100% e constaram que corpos cerâmicos, quando levados ao forno e queimados, ampliam significativamente a emissão de gases metano e carbônico ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  respectivamente) o que, segundo os próprios pesquisadores, é um aspecto que gera grande preocupação ambiental. Ainda com relação ao RETA, RODRIGUES *et al.* (2013) o empregaram em substituição por partes do solo na produção de corpos de prova de solo-cimento e apontam a sua utilização em percentuais de até 1,25% para o RETA de Campos de Goytacazes-RJ.

Com relação ao RPP, SILVA (2005) aplicou o RPP em corpos de prova de concreto e encontraram considerável aumento de resistência à compressão, que contribui para a preservação do meio ambiente. LORENZI (2005) incorporou o RPP em massa de tijolos cerâmicos e observou melhora na resistência e absorção dos blocos com 5% de resíduo incorporado. KUMMER *et al.* (2007) indicaram que para sua aplicação em revestimentos internos faz-se necessária a observância das suas dosagens para garantia da inertização. BERNARDIN *et al.* (2006) incorporaram o RPP para produção de material cerâmico celular e demonstraram resistência mecânica satisfatória.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo testar diferentes dosagens de RETA e de RPP através de sua aplicação, em separado e simultaneamente, em blocos prensados de solo-cimento, que são normalizados pela NBR 10.834 (ABNT, 2012) e popularmente conhecidos como tijolos ecológicos.

## METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa trabalhou com os dois resíduos diferentes, um de uma ETA e outro de uma fábrica de porcelanato. O RETA foi obtido na ETA Engenheiro Rodolfo José da Costa e Silva (ETA Meia Ponte), localizada em Goiânia, no Estado de Goiás, que é responsável pelo tratamento e abastecimento da região metropolitana, atendendo cerca de 50% da demanda. Já, o RPP foi coletado na indústria Cecrisa revestimentos cerâmicos, localizada no distrito agroindustrial de Anápolis, Goiás.

O RETA foi coletado na lagoa de secagem da ETA Meia Ponte, a qual recebe os resíduos dos decantadores e da lavagem dos filtros. Nessa ETA, durante o tratamento, o coagulante empregado é o sulfato de alumínio, não sendo utilizado nenhum outro produto, tais como auxiliares de coagulação e nem o carvão ativado. Após coleta, o RETA foi processado em triturador pedra moinho e a amostra foi homogeneizada, obtendo uma amostra uniforme.

O RPP foi adquirido na unidade de tratamento de efluentes da fábrica de revestimentos da Cecrisa, que devido às suas características não foi necessário nenhum preparo antes de sua utilização.

Os resíduos foram submetidos à análise granulométrica, no laboratório de solos da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (EEC-UFG). Utilizou-se o método de classificação granulométrica por peneiramento e, também, o ensaio de sedimentação com defloculante. As amostras foram peneiradas e classificadas conforme os critérios da NM 52 (ABNT, 2009), foram também obtidos: teor de umidade NBR 16.097 (ABNT, 2012) índices e limites NBR 6459 (ABNT, 1984) e NBR 7.180 (ABNT, 1988).

Para a produção do corpo de prova, foi escolhida a produção do bloco prensado (Figura 1b) devido ao seu processo de produção que não envolve queima, utilizando o solo em mistura ao cimento e água e, posteriormente prensado e curado (Figura 1c) utilizando-se somente água, necessária para a realização das reações químicas conforme a NBR 10.836 (ABNT, 2013). Assim, não lançam poluentes no meio ambiente (fuligem, fumaça, gases metano e carbônico).

De acordo com a NBR 10.834 (ABNT, 2012), os blocos de solo-cimento devem atingir uma resistência mínima de 2,0 Mpa e 20% de taxa máxima de absorção de água. Dessa forma, definiu-se os traços aplicando os resíduos em substituição ao solo na proporção de 20% na produção dos blocos.

Assim, foram elaborados 4 traços com a aplicação em percentuais de Solo, RETA, RPP, Cimento e diferentes volumes de água, de acordo com a Tabela 1. O intuito foi observar os traços que atingiram os parâmetros de resistência à compressão e absorção de água, exigidos pela norma. Foram produzidas 30 peças para cada traço, conforme Tabela 1, em prensa hidráulica modelo Eco Premium 2600 sob pressão de 6,0 ton/bloco (Figura 4a) seguindo as determinações da NBR 10.833 (ABNT 2012).

Os blocos produzidos foram submetidos a ensaios de compressão a resistência mecânica (Figura 1a) e ensaio de absorção de água (Figura 1b) aos 14 e 28 dias, sendo que todos os ensaios foram realizados no laboratório de resistência de materiais da EEC-UFG, seguindo os critérios definidos pela NBR 10.836 (ABNT, 2013).

**Tabela 1 – Composição dos Traços dos tijolos produzidos**

Traços N°	Solo (%)	RETA (%)	RPP (%)	Cimento (%)	Água (L)
1	90	0	0	10	2,5
2	70	20	0	10	3,0
3	70	0	20	10	3,0
4	70	10	10	10	3,0



**Figura 1: Prensa universal para ensaios de resistência à compressão (a) e Estufa para secagem utilizada na análise de absorção (b).**

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

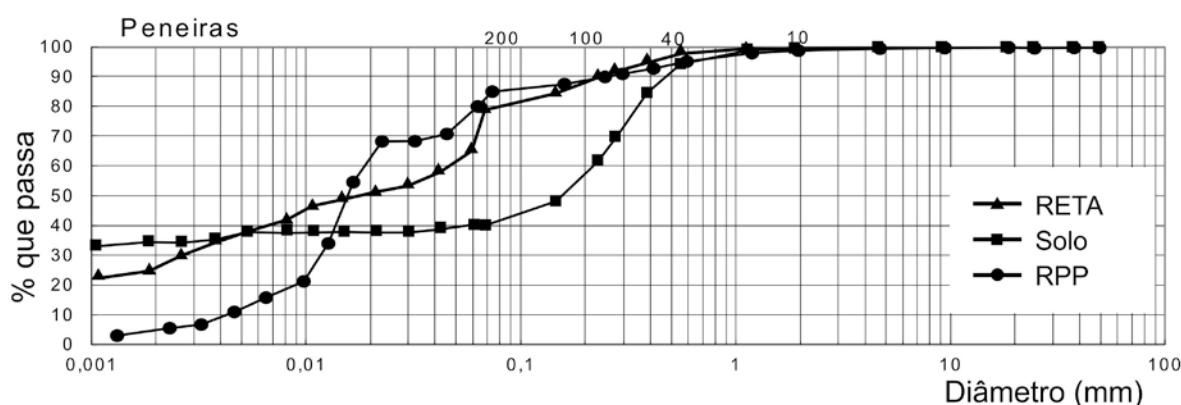
A granulometria dos agregados evidenciou a variabilidade dos percentuais de cada material de acordo com cada diâmetro de abertura das peneiras. A Tabela 2 revela que os maiores grãos encontrados no solo foram de 2,0 mm com a parcela de 0,17% desse agregado e uma maior quantidade de partículas finas, abaixo de 0,075 mm, contendo 39,89%. No RETA verificou-se uma composição granulométrica com ausência de partículas com diâmetros igual ou acima a 1,2 mm, contendo 1,72% com 0,60 mm, e para os grãos mais finos (< 0,075 mm) encontrou-se 40,09%; No RPP aferiu-se partículas com tamanhos a partir de 4,8 mm, com a quantidade de 0,24% e para partículas menores que 0,075 mm observou-se 87,64%.

Com esses resultados de granulometria, constatou-se que o RPP possui as maiores partículas, entre 4,8mm e 2,0 mm, porém ele também possui maior quantidade de grânulos mais finos, com 85,05% abaixo de 0,075mm. O solo é o agregado com tamanhos de partículas na faixa intermediária, entre os agregados entre 2,0 mm e menores que 0,075 mm. O RETA contém as menores partículas entre os agregados, entre 0,60 mm e menores que 0,075 mm.

Na Figura 2 observa-se através das curvas granulométricas, a variação do diâmetro das partículas dos agregados; verifica-se também concentrações maiores de partículas finas em todos agregados; Segundo SILVA (2005) as partículas finas auxiliam na fluidez da massa em estado fresco, bem como colaboram preenchendo os espaços vazios entre os agregados dos blocos, essas propriedades tem um efeito positivo para melhorar a absorção de água das peças, nos corpos de prova produzidos com RPP. Fato que pode ser observado nos traços 2 e 3, pois obtiveram menores taxas de absorção de água que a amostra de controle.

**Tabela 2: Distribuição granulométrica dos agregados em percentuais por abertura de peneira.**

Peneira (mm)	Solo (%)	RETA (%)	RPP (%)
4,8	0,0	0,0	0,24
2,0	0,17	0,0	0,71
1,20	0,60	0,0	0,82
0,60	4,69	1,72	3,14
0,42	9,86	4,47	2,12
0,30	15,17	7,79	2,01
0,25	7,68	9,74	0,98
0,16	13,71	15,30	2,34
0,075	8,23	20,89	2,59
< 0,075	39,89	40,09	85,05



**Figura 2: Gráfico da curva granulométrica do RETA, RPP e solo.**

A carta de plasticidade dos agregados da Figura 3, caracteriza o solo (argila) como argila de baixa plasticidade e o RETA como silte de baixa plasticidade, considerando os respectivos índices de plasticidade e limite de liquidez. Porém, DAS (2011) propõe a caracterização mais específica, qualificando-os com plasticidade média e ainda os identificam como argila em estado sólido, altamente adensadas, levando-se em conta a análise dos índices de liquidez (-1,13 e -1,99 respectivamente) e consistência (2,13 e 2,99 respectivamente) e classificação dos solos proposta por BURMISTER (1949) apud DAS (2011). Não foram obtidos os índices e limites do RPP, devido a dificuldades técnicas encontradas.

**Tabela 3: Teores, pesos, limites e índices dos agregados.**

	SOLO	RETA	RPP
TEOR DE UMIDADE (%)	0,53	3,64	0,08
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS	2,671	2,86	2,612
LIMITE DE LIQUIDEZ (%)	36,8	46,7	-
LIMITE DE PLASTICIDADE (%)	19,9	32,3	-
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	17	14,4	-
ÍNDICE DE LIQUIDEZ	-1,13	-1,99	-
ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	2,13	2,99	-



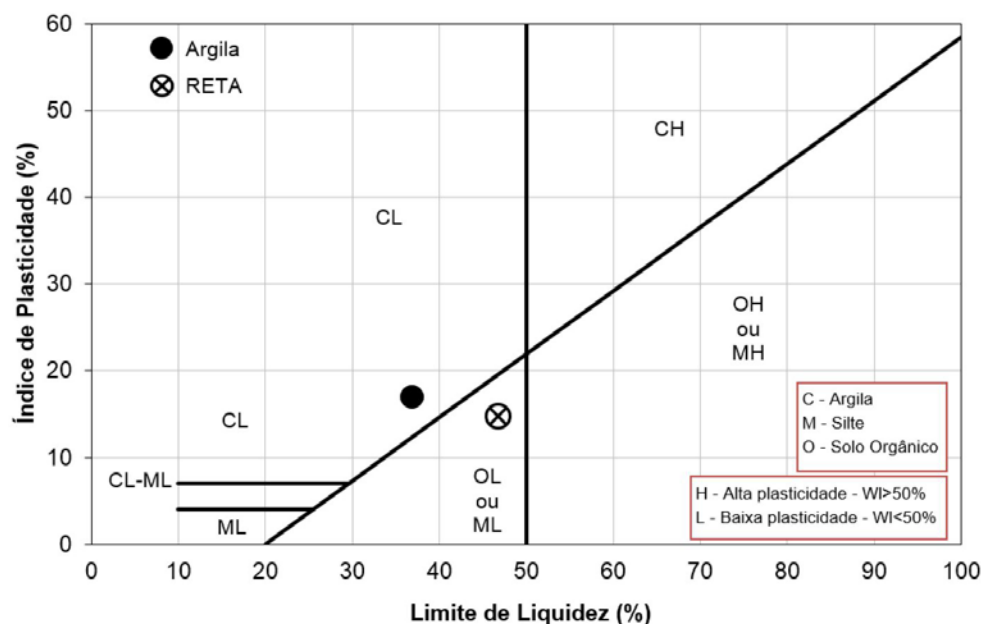


Figura 3: Carta de Plasticidade dos agregados, evidenciando que solo (argila) foi caracterizado como argila de baixa plasticidade e o RETA como silte de baixa plasticidade.

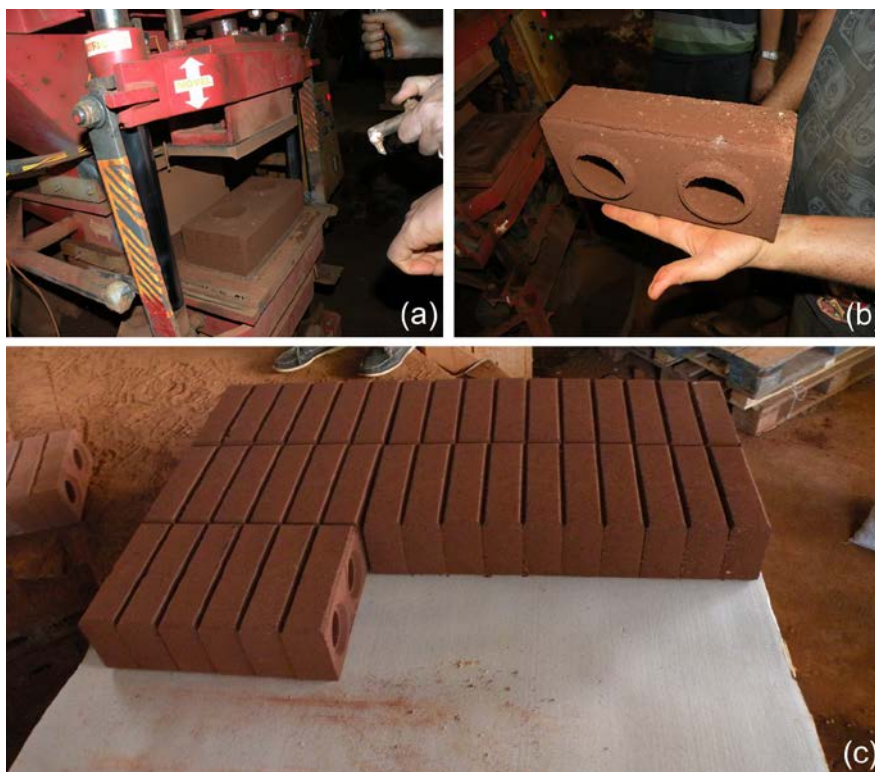


Figura 4- Lote dos blocos de solo-cimento. (a) Tijolo na prensa hidráulica; (b) Tijolo Prensado; (c) Tijolos pronto em estágio de cura.

De acordo com os ensaios realizados, resistência à compressão e absorção de água, todos os traços produzidos e ensaiados atenderam os parâmetros de resistência mecânica, pois as amostras apresentaram resistência acima de 2,0 MPa, como pode-se observar na Figura 6a. Conforme a figura 6b, aos 28 dias, as taxas de absorção de água ficaram com valores inferiores a 20%, resultados que obtiveram parâmetros de acordo com o que determinam as NBR 10.834 (ABNT, 2012) e NBR 10.836 (ABNT, 2013).

A amostra de controle apresentou a maior taxa de resistência que os demais traços. A composição 2, com inserção de RETA, obteve 2,3 MPa de resistência mecânica, 20,68% menor com relação ao controle (2,9 MPa) e sua taxa de absorção foi de 17,55%, com diminuição de 5,4% comparada à amostra de controle, que obteve 18,55%. A composição 3, com adição de RPP obteve a pior resistência mecânica com 2,15 MPa e taxa de absorção superior à de controle, com 18,10%. A composição 4, que possuía 10% de RETA e 10% de RPP, obteve 2,2 MPa de tensão de resistência e 19,40% de absorção, resultados inferiores à amostra controle. Observa-se que os blocos são tecnicamente viáveis para produção em escala, o que condiciona a questão do passivo ambiental para uma solução sustentável, tanto no aspecto ambiental quanto econômico.



Figura 5: Corpos de prova imersos em água durante o ensaio de absorção.

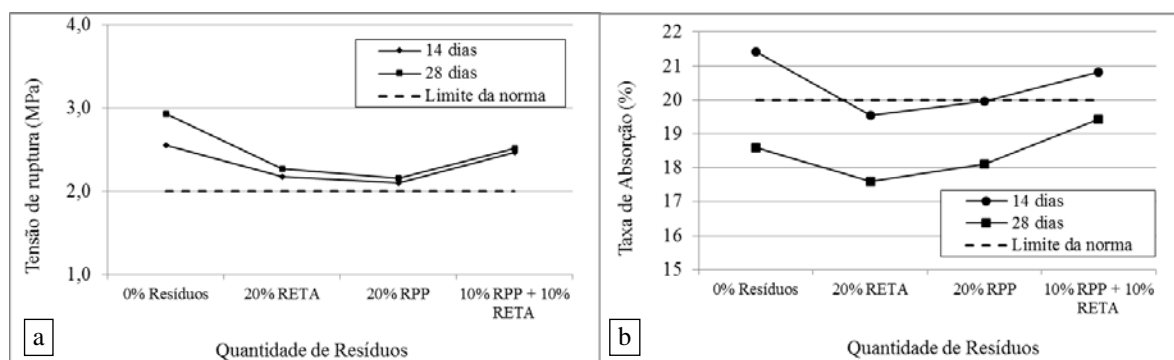


Figura 6: Tensão a ruptura (a) e Taxa de absorção (b) aos 14 e 28 dias para os corpos de prova.

## CONCLUSÕES/ RECOMENDAÇÕES

Os experimentos permitiram concluir que com a utilização dos resíduos nos traços: 2 (RETA) e 3 (RPP) diminuíram a resistência à ruptura, porém, a absorção de água diminuiu, comparados à amostra controle. No entanto a mistura 4 (RETA + RPP) apresentou maior resistência quando aplicados conjuntamente, entretanto, mostrou-se com uma maior absorção de água, ficando abaixo do limite da norma aos 28 dias. Todas composições ensaiadas obtiveram resultados em conformidade com a norma.

Como os ensaios demonstraram a viabilidade técnica dos blocos; a questão econômica é vinculada ao custo da disposição dos resíduos, seja em aterros sanitários, incineração, etc..., Assim considerando a inserção dos resíduos como matéria-prima em substituição ao solo, atribui-se utilização sustentável aos resíduos, valorizando-os e salienta-se que dessa maneira reduz-se a extração e utilização de matéria-prima natural o que é importante para preservação dos recursos naturais.

Recomenda-se novos ensaios aplicando os resíduos com maiores variações das dosagens empregadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6.459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
2. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.180: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1988.
3. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
4. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
5. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual e hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.
6. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
7. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.836: Bloco de solo-cimento sem função estrutural - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
8. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.097: Solo — Determinação do teor de umidade — Métodos expeditos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
9. ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
10. BERNARDIN, A. M.; FELISBERTO, D. S.; DAROS, M. T.; RIELLA, H. G. Reaproveitamento de Resíduos de Polimento e de Esmaltação para Obtenção de Cerâmica Celular. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 11, n.5, p. 31 - 34, set/dez. 2006.
11. BRASIL. Lei Federal Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
12. DAS, B. M. Fundamentos da Engenharia Geotécnica. Trad. da 7ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
13. HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., JOUKOSKI, A., TRINDADE, E. M., & ANDREOLI, C. V. (2006). Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 1, Feb. 2006 .
14. KUMMER, L. BASSETTI, F. J., RIELA, H. G., AZEVEDO, J. C. R. Reutilização dos resíduos de polimento de porcelanato e feldspato na fabricação de novo produto cerâmico. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 03, n.12, p. 34 - 38, maio/jun. 2007.
15. LORENZI, V. Reaproveitamento do resíduo sólido proveniente da estação de tratamento de efluentes da indústria cerâmica de gres porcelanato. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 120f, 2005.
16. OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F.; Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. *Cerâmica* [online]. 2004, vol.50, n.316, pp. 324-330. ISSN 0366-6913.
17. PAIXÃO, L. C. C.; YOSHIMURA, H. N.; ESPINOSA, D. C. R.; TENORIO, J. A. S. Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa. *Cerâmica* [online]. 2008, vol.54, n.329, pp. 62-73. ISSN 0366-6913.
18. RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. (2013). Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. *Cerâmica*, São Paulo, v. 59, n. 352, Dec. 2013.
19. SALES, A.; FRANCIS R.; ALMEIDA, F. (2011). Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust. *Construction and Building Materials*, n.25, p.2793–2798, 2011.
20. SILVA, G. J. B. Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 107f, 2005.
21. SOUZA, V. P.; TOLEDO, R.; HOLANDA, J. N. F.; VARGAS, H.; FARIA Jr.; R. T. Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. *Cerâmica*, São Paulo , v. 54, n. 331, p. 351-355, Sept. 2008.
22. TARTARI, R.; DIAZ-MORA, N.; MODENES, A. N.; PIANARO, S. A. Lodo gerado na estação de tratamento e água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha: Parte

- I: caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. *Cerâmica* [online]. 2011, vol.57, n.343.
23. VIEIRA, C.M.F.; MARGEM, J.I. and MONTEIRO, S.N.. Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com lodo de ETA. *Matéria* (Rio J.) [online]. 2008, vol.13, n.2 [cited 2013-10-02], pp. 275-281.