

I-022 – RESÍDUO SÓLIDO AGROINDUSTRIAL EM TIJOLO SOLO-CIMENTO

Wesley Pisin⁽¹⁾

Engenheiro de Produção pela Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Sinop (2016). Discente de pós-graduação *stricto sensu* no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). Membro discente da Congregação do Instituto de Ciências Naturais, Humanas e Sociais (ICNHS) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Karla Emmanuella Schneider⁽²⁾

Discente do curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT).

Roselene Maria Schneider⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2003), mestrado (2006), doutorado (2009) e pós-doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá. Atualmente é professor efetivo da Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Universitário de Sinop, atuando no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental (área ambiental) e Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Adriana Garcia do Amaral⁽⁴⁾

Engenheira Agrícola pela Universidade Estadual de Goiás (2006), mestrado em Engenharia Agrícola (Construções e ambiência) pela Universidade Federal de Lavras (2009) e doutorado em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiência) pela Universidade Federal de Viçosa (2012). Atualmente é professora efetiva da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Sinop, trabalhando com as disciplinas Materiais de Construção, Construções Rurais e Construções Rurais e Ambiência.

Endereço⁽¹⁾: Rua: Sicília, 650 – Jardim Florença - Sinop - MT - CEP: 78550 - 412 - Brasil - Tel: (66) 99641-1183 - e-mail: wesleypisin@gmail.com

RESUMO

Perante o cenário de desenvolvimento sustentável, observa-se grande dificuldade em relação a gestão e planejamento efetivo dos resíduos gerados pelo setor agroindustrial. O desenvolvimento de novas práticas utilizando materiais renováveis e a reutilização de resíduos, tem sido cada vez mais estudada no ramo da construção civil. No presente trabalho objetivou-se estudar a efetividade técnica da utilização de resíduo sólido (lodo) derivado do sistema primário de tratamento de uma agroindústria como componente na fabricação de tijolos solo-cimento. A efetividade técnica foi estudada mediante a fabricação de corpos de prova com solo, cimento e lodo. O lodo empregado foi coletado após gerado no tratamento primário de uma agroindústria, seco à sombra, triturado e peneirado (lodo passante em peneira com abertura de 1,18 mm). O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho seco naturalmente e à sombra. A produção dos corpos de prova consistiram em teor de cimento de 10%, e foram realizadas em duas etapas experimentais. Na primeira etapa testaram-se dois valores de pH da água 5 e 7, e na etapa seguinte, foram escolhidas 4 concentrações de lodo para fabricação de corpos de prova (2, 4, 6 e 8%) e mais testemunha (0% de lodo). Em ambas as etapas, após o sétimo dia de moldagem, se avaliou as resistências à compressão simples nos corpos de prova seguindo os procedimentos das normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados demonstraram que, os corpos de prova fabricados com valor de água de pH 5 foi o que levou à maior resistência à compressão simples ($p < 0,05$). Em relação às dosagens de lodo verificou-se que nas dosagens de 2 e 4% obtiveram-se os maiores valores de resistência à compressão simples ($p < 0,05$). Dessa forma, considerando que na dosagem 4% há a possibilidade de maior aproveitamento de lodo, definiu-se que a dosagem ideal de lodo para a fabricação de tijolos solo-cimento é de 4%.

PALAVRAS CHAVE: Corpos de Provas, Reuso, Lodo, Tijolo Ecológico.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas ambientais enfrentados atualmente, sendo muitas vezes motivo de debates e discussões, é a quantidade de resíduos gerados. O consumismo e a concentração das populações urbanas, são algumas das causas associadas à essa problemática (ALAM; AHMADE, 2013).

O crescimento populacional ao longo das décadas resultou em altos índices de consumo, e a busca constante de novos produtos tem acarretado o aumento da geração de resíduos (PORRAS, 2007). Assim como o consumismo, existem outros agravantes em relação a escassez dos recursos naturais disponíveis, como por exemplo a falta de reaproveitamento ou reutilização de resíduos e em relação aos resíduos sólidos gerados, é muito comum encontrar-se materiais que poderiam ser reutilizados (SILVA; ALMEIDA, 2010).

A Lei de número 12.305/2010, ou Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi instituída no Brasil com o objetivo de indicar formas do gerenciamento dos resíduos sólidos, juntamente com o emprego de responsabilidades aos seus geradores (BRASIL, 2010). De acordo com a PNRS, cada empreendimento gerador é responsável pelo gerenciamento dos resíduos que produz.

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora NBR 10.004 - Resíduos Sólidos – Classificação (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são os resíduos nos estados sólido e semissólido, que são gerados em atividades industriais, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, além de lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

O lançamento dos resíduos sólidos industriais quando realizado de forma incorreta, podem afetar de forma agressiva os ecossistemas, contaminando o solo, recursos hídricos e biossistemas costeiros (NASCIMENTO et al., 2000; NIPPER, 2000).

O Brasil, não possui um banco de dados atualizado e preciso quanto a produção de resíduos industriais. Segundo o Instituto Brasileiro e Administração Municipal (2008), isso ocorre devido a data de implantação da Resolução nº 313 realizada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Essa resolução exige a obrigatoriedade do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais (INRS), o qual ocorreu somente em 2002 e ainda assim, não foram todos os estados que realizaram esse inventário (BRASIL, 2002).

O custo médio anual do Brasil com destinação inadequada de resíduos industriais, gera aproximadamente 600 milhões de reais aos municípios (ABETRE, 2006). Assim, devido a diversos problemas causados pela disposição incorreta dos resíduos sólidos industriais e custo elevado para tratá-los ou dispô-los corretamente, o desenvolvimento de práticas de reutilização é de extrema importância. Tem-se, então, que a incorporação de resíduo sólido em artefatos para utilização na construção civil justifica-se, pois, trata-se de alternativa de reaproveitamento de resíduo sólido. Um tipo de artefato é a mistura solo-cimento.

No Brasil, pesquisas relacionadas à mistura solo-cimento tiveram maior importância à partir do ano de 1930, quando foi regulamentada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) a aplicação e uso dessa mistura (SOUZA, 2006). Entretanto, foi após o ano de 1935, que pesquisas voltadas à mistura solo-cimento se intensificaram, devido o surgimento da Portland Cement Association (PCA), que iniciou estudos os quais resultaram na consolidação dessa técnica (GRANDE, 2003).

O solo-cimento é o produto obtido da mistura íntima de solo, cimento Portland e água, que compactada, na umidade ótima e máxima densidade, em proporções pré-estabelecidas, apresenta o ganho de resistência e dureza por meio das reações de hidratação do cimento (ABCP, 1986). Muitos trabalhos têm demonstrado a viabilidade técnica e econômica da incorporação de resíduos sólidos em misturas solo-cimento, como resíduo de construção (FERRAZ; SEGANTINI, 2004), utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (VALENCIANO; FREIRE, 2004), resíduos de concreto (SOUZA, 2008), lodo de estação de tratamento de água (RODRIGUES; HOLANDA, 2013), lodo de estação de tratamento de esgoto (SOARES JÚNIOR, A. R. et al., 2016), entre outros. Com a possibilidade de reutilização de resíduo, teve-se por objetivo neste trabalho avaliar a viabilidade técnica da utilização de lodo agroindustrial na fabricação de tijolos solo-cimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na Universidade Federal de Mato Grosso, em Sinop - MT. Os experimentos consistiram na determinação do teor ótimo de lodo a ser incorporado na massa de solo-cimento para a fabricação futura de tijolos solo-cimento.

A determinação do teor ótimo de incorporação de lodo foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa se testou dois valores de pH, 5 e 7; na segunda etapa diferentes teores de lodo (0, 2, 4, 6 e 8%) na mistura solo-cimento. Em ambas as etapas os testes foram realizados pela fabricação de corpos de prova (CP), que foram ensaiados à compressão simples aos 7 dias após moldagem.

O solo utilizado na moldagem dos corpos de prova foi o Latossolo Vermelho e o lodo utilizado foi coletado no sistema de tratamento primário de agroindústria de processamento de soja, no município de Sorriso - MT. Antes de ser utilizado, o lodo secou à sombra, foi triturado e peneirado (lodo passante em peneira de 1,18 mm). Todos os corpos de prova foram fabricados com teor de cimento de 10% da massa da mistura, conforme trabalhos de Rodrigues e Holanda (2013) e Pinheiro et al. (2013). Antes da fabricação dos corpos de prova, ensaios de compactação do solo foram realizados.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO (EC)

Realizou-se os ensaios de compactação seguindo a NBR 12.023 (ABNT, 2012a), utilizando misturas de solo-cimento e misturas de solo-cimento-lodo. Mediante os ensaios de compactação, definiu-se a massa específica seca máxima, e, portanto, a umidade ótima de moldagem dos corpos de prova (PINHEIRO et al., 2013).

FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA (CP)

A fabricação dos corpos de provas (CP) foi realizada em de acordo com a NBR 12.024 (ABNT, 2012b). Na primeira etapa fabricaram-se 10 corpos de prova, sendo 5 utilizando água sem correção de pH (pH natural da água (valor próximo de 5)) e 5 utilizando água com pH corrigido para o valor neutro (pH 7). Na segunda etapa, fabricou-se 25 corpos de prova, com os teores de lodo substituindo o solo em 2, 4, 6 e 8% em massa, além da testemunha (corpo de prova sem adição do lodo) (100% solo e 0% lodo; 98% solo e 2% lodo; 96% solo e 4% lodo; 94% solo e 6% lodo; e 92% solo e 8% lodo).

Após moldados, corpos de prova mantiveram-se em período de cura úmida o qual a umidade do ar permanece acima de 95% durante sete dias, sendo posteriormente deixados em imersão em água por 4 horas. Após o período de imersão, realizou-se os ensaios de resistência à compressão simples, seguindo os procedimentos da norma NBR 12.025 (ABNT, 2012c). O traço solo-cimento-lodo que apresentou maior resistência será utilizado para a fabricação futura de tijolos solo-cimento tipo bloco vazado de encaixe.

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso em ambas etapas experimentais. Na primeira etapa testaram-se dois valores de pH da água e na segunda etapa testaram-se 5 teores de lodo. A variável resposta, resistência à compressão simples, foi avaliada pela Anova. Quando verificadas diferenças estatísticas para o valor de pH, a Anova foi conclusiva, sendo o valor médio obtido para cada valor de pH. Quando verificadas diferenças estatísticas em relação aos teores de lodo, os valores foram avaliados por meio de análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ETAPA 1 – TESTE DE PH

O resultado do teste de pH demonstrou que houve diferença ($p < 0,05$) de resistência entre os diferentes valores de pH da água testados. No menor valor de pH da água utilizada (pH 5) obteve-se o maior valor de resistência à compressão simples. O valor médio com água em pH 5 foi de 1,87 Mpa, enquanto que o valor médio para a água em pH 7 foi de 1,0 Mpa.

Mazzeo (2003) ressaltou que a estabilização de partículas do cimento é reduzida de forma inversamente proporcional à acidez dos materiais envolvidos na mistura. Neste caso, considerando que apenas o pH da água foi alterado, entendeu-se que a água foi o agente que interferiu na estabilização da mistura. Dessa forma, estabeleceu-se a utilização de água em pH ácido para a fabricação dos corpos de prova na etapa subsequente.

ETAPA 2 - INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL

Os resultados da avaliação da substituição de solo por lodo mostraram que houve diferença estatística em relação aos valores médios de resistência à compressão simples (Figura 1). Observou-se tendência de aumento da resistência conforme aumento da incorporação de lodo até valores próximos de 2%. Para valores maiores do que 2% até aproximadamente 4% verificou-se tendência de resistência semelhante e após 4% a tendência da resistência foi de queda nos valores, que se igualaram ou tornaram-se menores do que os valores do corpo de prova testemunha.

Muitos fatores podem influenciar a resistência à compressão de misturas solo-cimento e solo-cimento-resíduo, como por exemplo a presença de matéria orgânica, pois solos que contenham mais do que 2% de matéria orgânica não são indicados, pois inibem a hidratação do cimento (LOPES, 2002). Cloretos e sulfatos presentes na mistura solo-cimento que contenha matéria orgânica possibilita a ocorrência de falha na hidratação do cimento, deixando-a mais lenta, afetando de forma negativa a resistência do tijolo produzido (FIQUEROLA, 2004). Segundo Ingles e Metcalf (1972), citados por Foppa (2005), isso ocorre porque a matéria orgânica imobiliza íons cálcio liberados na hidratação do cimento, prejudicando as reações secundárias do cálcio que reage com a sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) do solo, responsáveis, também, pelo ganho de resistência.

O teor de umidade é outro elemento decisivo na resistência à compressão. Se for compactado com teor de umidade baixa, haverá maior atrito entre as partículas do solo não possibilitando a redução dos vazios (ar), e caso seja compactado com umidade acima do ponto ótimo, poderá resultar em perda de força na compactação devido o excesso de água (MASSAD, 2003). Considerando-se que neste trabalho, a umidade ótima foi obtida pelo ensaio de compactação acredita-se que a umidade não foi fator de interferência na resistência à compressão. Conforme a tabela abaixo, pode-se observar os resultados de força (Mpa) obtidos a partir do teste de compressão simples em relação a quantidade de lodo incorporado à mistura.

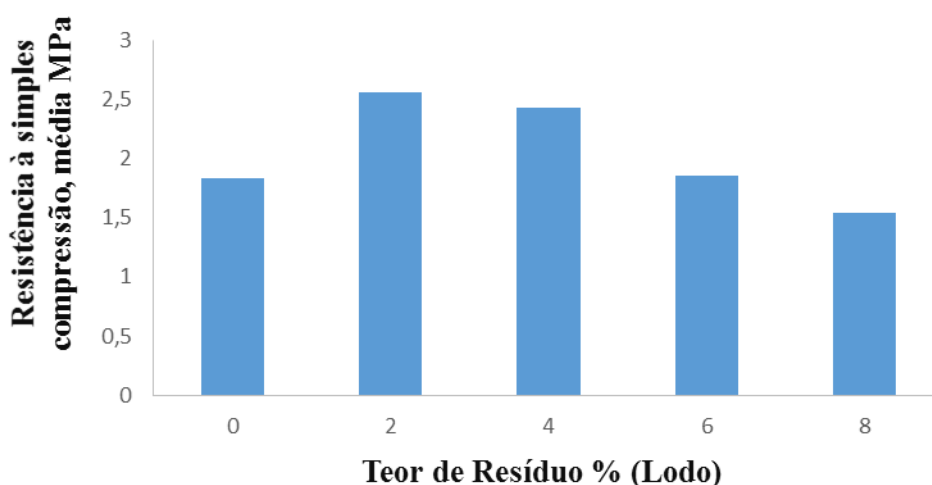


Figura 1 - Valores médios de resistência à compressão simples em função do teor de lodo substituindo o solo.

Por outro lado, considerando que o lodo utilizado neste trabalho apresenta grande quantidade de matéria orgânica, acredita-se que em pequenas concentrações o lodo atuou como agente ligante ou outro, porém, em concentrações acima de 4% o efeito melhorador foi ultrapassado pelo efeito de absorção de cálcio pela matéria orgânica presente (LOPES, 2002).

CONCLUSÃO

A utilização da água em valor de pH 5, é indicado para a fabricação de artefatos de solo-cimento. Valores de dosagens entre 2 e 4% de lodo da agroindústria de processamento de soja, são indicadas para a fabricação de corpos de prova e tijolos solo-cimento, pois demonstraram tendência de ganho de resistência à compressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP (1986). Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo, SP, ABCP, ET-35, 51p.
2. ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. Perfil do setor de tratamento de resíduos e serviços ambientais. São Paulo: ABETRE, 2006.
3. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12023: Solo-cimento - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT. 2012a.
4. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12024: Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT. 2012b.
5. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12025: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos- Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT. 2012c.
6. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a, 71p.
7. ALAM, P.; AHMADE, K. Impact of solid waste on health and the environment. *International Journal of Sustainable Development and Green Economics*, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 165-168, 2013.
8. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama). Resolução no 313, de 29 de outubro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, 22 nov. 2002.
9. BRASIL. Lei 12.305 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a Lei de 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007.2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 31 jul de 2018.
10. FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A da S. Engenharia sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 5., Anais..., Campinas: UNICAMP, 2004.
11. FIQUEROLA, V. Alvenaria de solo-cimento. *Revista Técnica*, n. 85, São Paulo: Editora Pini, 2004.
12. FOPPA, D. Análise de variáveis-chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados. Porto Alegre, 2005. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
13. GRANDE, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. 2003. 165f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
14. INGLES, O. G.; METCALF, J. B. Soil Stabilization - Principles and Practice. Australia: Butterworths Pty. Limited, 1972.
15. INSTITUTO BRASILEIRO E ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Painel II - Resíduos Sólidos Industriais e Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. In: SEMINÁRIO - PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, 2008, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos... Rio de Janeiro: IBAM, 2008. Disponível em: <http://www.ibam.org.br/publique/media/rsi%20e%20mdl.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.
16. LOPES, W. G. R. Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas. Campinas, 2002. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2002.
17. MASSAD, Façal. Obras de terra: Curso Básico de Geotecnia. São Paulo: Oficina de Textos, 2003.
18. MAZZEO, F. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. São Carlos, 2003. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia USP, São Carlos, 2003.
19. NASCIMENTO, A.; SMITH, D. H.; PEREIRA, S. A.; SAMPAIO DE ARAUJO, M. M.; SILVA, M. A.; MARIANI, A. M. Integration of varying responses of different organisms to water and sediment quality at sites impacted and not impacted by the petroleum industry. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, London, v. 3, n. 4, p. 449-458, Dec. 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1463498800000452>. Acesso em: 8 ago. 2018.
20. NIPPER, M. Current approaches and future directions for contaminant-related impact assessments in coastal environments: Brazilian perspective. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, London, v. 3, n. 4, p. 433-447, Dec. 2000. Disponível em: <http://sciencedirect.com/science/article/pii/S1463998800000464>. Acesso em: 8 ago. 2018.
21. PINHEIRO M. L.; ALVARENGA R. de C. S. S. A.; RIBEIRO B. C.; SILVA JÚNIOR P. R.; SARMET M. S.; M. S.; FASSONI, D. P. Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de grits. *Ambiente Construído*, 2013, Porto Alegre, Santa Catarina. v. 13, n. 2, p. 29-46, abr./jun. 2013.
22. PORRAS, A. C.; ISAAC, R. L.; MORITA, D. M. Avaliação do uso conjunto de lodo de estações de tratamento de água e agregado reciclado. Campinas: SP, Out. 2007.



23. RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. Resíduos sólidos: problema ou oportunidade? Rio de Janeiro: Interciência, 2009. 158 p.
24. RODRIGUES P. L.; HOLANDA F. N. J. Recycling of water treatment plant waste for production of soil-cement bricks. *Procedias Material Science*, v.8, p.194-202, Ago. 2013.
25. SILVA, P. S.; ALMEIDA, M. V. Módulo Didático: Lixo, saúde e ambiente. Educação Ambiental Centro de Referência Virtual do Professor - SEE-MG / agosto 2010. Disponível em: http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/index.aspx?ID_OBJETO=119524&tipo=ob&cp=003366&cb&n1&n2=M%EF%BF%BDdulos+Did%EF%BF%BDticos&n3=Tem%EF%BF%BDticas+Especiais+-+Educa%C3%A7%C3%A3o+Ambiental&n4&b=s. Acesso em 04 Jun. 2018.
26. SOARES JÚNIOR, A. R; OLIVEIRA, I. C; LOPES, N. P; MENEZES JÚNIOR, J. C. M. Estudo da incorporação do lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgotos na formulação de tijolos ecológicos de solo-cimento. Serviço Público Estadual - Governo do Estado de Alagoas Companhia de Saneamento de Alagoas. Santana do Ipanema, Alagoas, 2015. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/INOVAOTIJOLOSECOLOGICOSUNIDACIALEITEIRAUNBL.pdf>> Acesso em: 12 Ago. 2018.
27. SOUZA, F. R. Estudo da eco-eficiência de argamassas e concretos reciclados com resíduos de Estações de Tratamento de água e de construções e demolições. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006a.
28. SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n. 2, p. 205-212, dez. 2008.
29. VALENCIANO, M. D. C. M.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 24, n.3, p.9, set. 2004.