

AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS DE ADOBE COM ADIÇÃO DE CELULOSE SECUNDÁRIA, PRODUZIDOS A PARTIR DA SECAGEM EM ESTUFA SOLAR

João Paulo Guedes da Silva¹, Ana Carolina Duailibe Murici Lentine², Andre Luiz Gonçalves³, Jorge Henrique Nunes Ramos⁴, Moni Kelly Santos Soares⁵, Rodrigo Araujo Fortes⁶

¹Estudante do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <joao.silva28@estudante.ifto.edu.br>

²Estudante do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <duailibe.ana@gmail.com>

³Professor Mestre do Instituto Federal do Tocantins – IFTO. e-mail: <andreluiz@ifto.edu.br>

⁵Estudante do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <henriquenunes2398@gmail.com>

⁶Estudante do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <moni100adoradora@gmail.com>

⁸Professor Mestre do Instituto Federal do Tocantins – IFTO. e-mail: <rodrigofortes@ifto.edu.br>

Resumo: Esse trabalho busca analisar as características de densidade aparente, e de resistência a compressão de tijolos de adobe com adição de diferentes teores de maravalhas de pinus, visando a sua aplicabilidade na construção civil. Foram realizados ensaios de laboratório seguindo as Normas Técnicas Brasileiras, entre elas a NBR 16814:2020, e obteve-se os dados de resistência à compressão, densidade, que em seguida passaram por uma análise estatística de variação. Foi constatado valores de resistência abaixo dos especificados pela NBR 16814, porém o material apresentou-se com boas características de absorção e densidade podendo ser aperfeiçoado em estudos futuros.

Palavras-chave: adobe, estufa solar, pinus, resistência, secagem

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores responsáveis pelo desenvolvimento socioeconômico mundial, mas também é uma das grandes geradoras de resíduos e emissoras de gases poluentes, causadores de danos à saúde humana e ao meio ambiente (SOARES, 2017, apud JÚNIOR et al., 2020,). Tais danos são causados devido o descontrole na exploração de recursos naturais e à utilização de métodos construtivos convencionais, que na maioria das vezes não são ecologicamente sustentáveis. Ademais, deve-se destacar também como problemática o fato de que o consumo energético para a fabricação de alguns materiais de construção amplamente difundidos é muito alto, visto que segundo Melo et al. (2011), “a fabricação de cimento Portland exige temperaturas de 1.450 °C, e os tijolos cerâmicos, por volta de 900-1.000 °C”.

Como alternativa, o uso de materiais naturais passa a ser uma necessidade real, desse modo, segundo Brito (2020) uma dessas soluções seria através da construção com terra crua que é um material abundante na natureza, de fácil extração e manuseio, além de economizar muita energia no processo de produção, e diminuir a contaminação ambiental por se tratar de um material natural. Tendo em vista que a região Sul do Estado do Tocantins possui várias olarias, que usam argila para a fabricação de produtos cerâmicos, obtidos pelo processo de queima, o adobe surge como uma alternativa de material sem emissão de gases de efeito estufa, podendo ser fabricados prensados ou não.

Além dessa problemática envolvendo a emissão de poluentes, também existe a questão da geração de resíduos da indústria florestal e o déficit habitacional presente no país, visto que segundo o estudo publicado em novembro de 2020 pela Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRAINC), o déficit do Tocantins é de 42.087 moradias, e o mesmo está diretamente ligado à condição

financeira familiar, pois segundo a mesma pesquisa 50% desse valor impacta famílias que recebem até 1 salário mínimo. Tendo como objetivo um direcionamento sustentável para esses resíduos, e a diminuição do déficit habitacional através da introdução de uma tecnologia barata e de fácil disseminação, o presente trabalho se apresenta com a finalidade de verificar a viabilidade do uso de tijolo de adobe com adição de celulose secundária na execução de moradias, identificando as características físicas e mecânicas do adobe produzido por secagem solar.

2 METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. A secagem em Estufa Solar foi realizada na Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus de Gurupi. Já os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Campus Palmas, do IFTO.

2.1 Coleta e preparo do material

Os materiais utilizados na produção dos tijolos de adobe foram maravalhas de *Pinus sp.*, solo e cal hidratada, todos adquiridos no município de Gurupi, no sul do estado do Tocantins. O solo foi submetido a ensaios de composição granulométrica conforme as NBR 6457:2016 e NBR 7181:1984, para determinação do teor de areia, silte e argila, pois segundo a NBR 16814:2020 considera-se adequado para a produção de adobe os seguintes teores: Areia: de 45% a 65%; Silte: até 30%; e Argila: de 25% a 35%. O solo utilizado para a confecção do adobe encontra-se dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 16814:2020, apresentando 45% de areia, 20% de silte e 35% de argila.

2.2 Determinação dos Tratamentos

Na definição da quantidade de insumos utilizados na produção do adobe, foram realizados pré-testes com adição de 10%, 20% e 30% de maravalhas de *Pinus sp.* em massa. Verificando-se que os adobes com adições superiores a 10% não possuem coesão entre as partículas, adotando-se traços com 5 e 10% de adição. A quantidade de água foi determinada, de modo a chegar numa consistência que permitisse o manuseio e a moldagem do adobe. Foram estabelecidas três tipologias de adobe: controle, sem adições, dois com adição de 5% e 10% de maravalhas de *Pinus sp.* em massa. Na Tabela 1 são apresentados os valores de insumos que foram utilizadas para a produção dos tijolos de adobe.

Tabela 1. Insumos utilizados na fabricação dos tijolos de adobe.

| Insumos | Tratamentos | | |
|------------------|-------------|---------------|---------------|
| | T0 (kg) | T1 (kg) | T2 (kg) |
| Solo | 60 | 47,5 | 49,5 |
| Maravalhas | 0 | 2,5 | 5,5 |
| Cal | 5 | 5 | 5 |
| Água | 15 | 14 | 20 |
| Traço | 1 | 1:0,05 | 1:0,10 |
| Fator a/s | 0,25 | 0,29 | 0,40 |

Nota: a/s: relação água/solo.
Fonte: Próprios autores, 2021.

Cada tipologia foi submetida a secagem ao ar livre e a secagem em estufa solar, gerando seis tratamentos distintos, cada um composto por 7 tijolos de adobe:

- T0A, sem adições, seco ao ar livre;
- T0E, sem adições, seco em estufa solar;
- T1A, com adição de 5% de maravalhas de Pinus sp., seco ao ar livre;
- T1E, com adição de 5% de maravalhas de Pinus sp., seco em estufa solar;
- T2A, com adição de 10% de maravalhas de Pinus sp., seco ao ar livre;
- T2E, com adição de 10% de maravalhas de Pinus sp., seco em estufa solar.

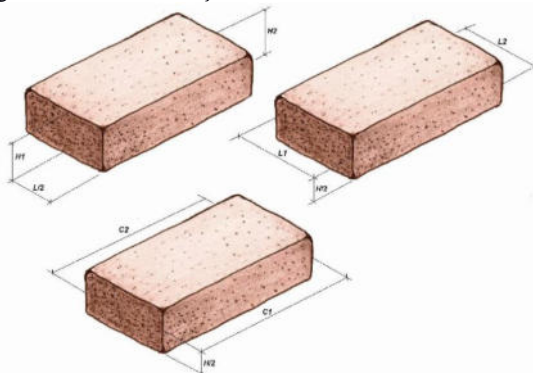
2.3 Confeção dos Corpos de Prova

As dimensões específicas para o tijolo de adobe seguiram as recomendações da NBR 16814:2020, sendo escolhidas as dimensões de 7cm x 14cm x 28cm (H x L x C) tendo uma tolerância de ± 5 mm.

A homogeneização da mistura seguiu os percentuais definidos no item anterior, com acréscimo de água, de modo a chegar numa consistência que permitisse o manuseio e a moldagem. Esse processo ocorreu de forma mecânica, através de uma betoneira de 400 litros. Os tijolos foram moldados de forma manual em fôrmas de madeira, limpas com água, retirando qualquer vestígio de poeira ou outro material indesejado que pudesse interferir no deslizamento durante o processo de moldagem.

Para a determinação da densidade do Adobe, foram utilizados os dados de massa e dimensões médias dos tijolos de adobe com dimensões de 7cm x 14cm x 28cm (H x L x C), coletados conforme o Anexo A da NBR 16814:2020, para determinação das características dimensionais (Figura 1).

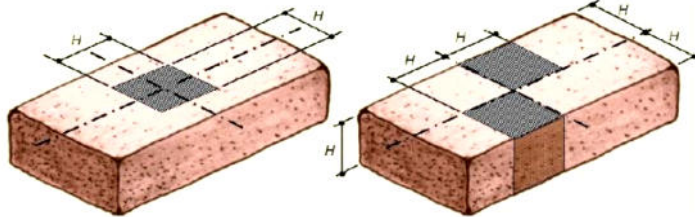
Figura 1 – Determinação das características dimensionais.



Fonte: adaptado NBR 16814, 2020.

Para o ensaio de compressão do adobe (f_{ca}), foram retirados dos tijolos de adobe 7 corpos de prova por tratamento, seguindo as recomendações do Anexo B da NBR 16814:2020 (Figura 2), com dimensões de 7 cm x 7cm x 7cm (H x L x C), posteriormente capeados com argamassa de cimento com espessura máxima de 3mm.

Figura 2 – Corpos de prova para do ensaio de compressão.



Fonte: adaptado NBR 16814, 2020.

2.4 Secagem em Estufa Solar e ao Ar Livre

Neste estudo utilizou-se a secagem em estufa solar e ao ar livre para fins de verificar a influência do processo de secagem na resistência final dos tijolos. A estufa solar utilizada foi confeccionada em estrutura metálica, revestida com uma camada de plástico polivinil cloreto (PVC), adotando-se as seguintes dimensões: 2,60 m de comprimento, 3,00 m de largura, 2,00 m de altura maior e 1,67 de altura menor, formando um plano inclinado com 11° definido em função da latitude do município de Gurupi – TO, conforme recomendações de SANTINI (1981). A secagem ao ar livre em local sem obstáculos à ventilação e com boa drenagem. Em ambos os métodos os tijolos de adobe foram dispostos sobre chapas de madeira niveladas. A NBR 16814:2020 estabelece que o tempo de secagem dos adobes varia de acordo com as condições climáticas de cada região. Portanto a secagem foi monitorada até massa constante dos tijolos.

2.5 Determinação da Densidade

A densidade foi obtida através da razão entre a massa e o volume dos tijolos de adobe. Para determinar o volume utilizou-se 7 tijolos de cada tratamento com dimensões de 7cm x 14cm x 28cm, e com o uso de um paquímetro digital foram obtidos dados de altura, largura e comprimento de cada tijolo. Para determinar a massa, foi usada uma balança de precisão. A densidade aparente foi obtida por meio da Equação 1.

$$D = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Em que: D é densidade em g.cm⁻³; P é o peso amostra em g; V é o volume em cm³.

2.6 Ensaio de Compressão do Adobe

Para o ensaio de compressão foi utilizado um total de 7 amostras de cada tratamento com medidas de 7 cm x 7cm x 7cm. Os corpos de prova foram submetidos a uma sobreposição de carga aplicada através de uma máquina universal de ensaios (Figura 3), marca EMIC, modelo DL10000, a mesma possui um sistema computadorizado para o controle das variáveis do ensaio e coleta dos dados de carga e deslocamento até o encurtamento do corpo. A resistência à compressão (f_{ca}) foi obtida por meio da Equação 2, enquanto a resistência característica à compressão do adobe (f_{cak}) foi obtida por meio da Equação 3.

$$f_{ca} = \frac{F_{rup}}{A_{rup}} \quad (2)$$

Em que: f_{ca} é a resistência à compressão do corpo de prova em MPa; F_{rup} é a força de ruptura em N; A_{rup} é a área de ruptura em mm².

$$f_{cak} = f_{cam} - 1,645 * Sd \quad (3)$$

Em que: f_{cak} é a resistência característica à compressão do adobe em MPa; f_{cam} é a resistência à compressão média da amostra em MPa; Sd é o desvio-padrão da amostra em MPa.

Figura 3 – Máquina universal EMIC DL10000.



Fonte: Próprios autores, 2021.

2.7 Análise Estatística

Para a análise estatística dos dados, foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, em que primeiramente aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e por fim utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Para a determinação do coeficiente de variação foi utilizada a planilha de Excel®.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios e a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os parâmetros densidade, e de resistência à compressão, que foram obtidos com 28 dias de secagem.

Tabela 2 – Valores médios de densidade (D), resistência à compressão (fca), resistência característica à compressão (fcak), e seus respectivos coeficientes de variação (Coef. Var.) entre parênteses.

| Tratamentos | D (g cm ⁻³) Coef. Var. (%) | fca (MPa) Coef. Var. (%) | fcak (MPa) |
|---|---|-----------------------------------|---------------|
| T0A – Sem adição, seco ao ar livre | 1,55a (8,18) | 0,55a (17,41) | 0,39 |
| T0E – Sem adição, seco em estufa solar | 1,44b (1,09) | 0,61a (12,05) | 0,49 |
| T1A – adição de 5%, seco ao ar livre | 1,25c (1,85) | 0,37b (9,86) | 0,31 |
| T1E – adição de 5%, seco em estufa solar | 1,29c (1,40) | 0,46ab (8,42) | 0,40 |
| T2A – adição de 10%, seco ao ar livre | 1,13d (1,60) | 0,20c (10,92) | 0,17 |
| T2E – adição de 10%, seco em estufa solar | 1,13d (1,74) | 0,32bd (9,76) | 0,27 |

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (5%). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0.05$).

Fonte: Próprios autores, 2021.

3.1 Densidade

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, em relação à densidade, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, onde pode-se observar que os tratamentos sem adição (T0A e T0E) apresentaram maior densidade (T0A:1,55 e T0E:1,44 g.cm⁻³), sendo a única tipologia que apresentou diferença estatística significativa no processo de secagem do adobe. As demais tipologias não apresentaram diferença estatística significativa quanto ao processo de secagem, evidenciando que o processo de secagem não influencia na densidade final dos tratamentos com adições, após os processos de secagem. Levando em consideração os coeficientes de variação, todos os dados apresentaram baixo coeficiente de variação, isso significa que não ocorreu discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

A NBR-16814:2020 não define um valor específico para densidade aparente unitário dos tijolos de adobe, o que possibilita a aceitação dos valores obtidos em todos os tratamentos.

3.2 Resistência à Compressão

Para o ensaio de resistência à compressão (Tabela 2) não houve diferença significativa entre os tratamentos T0A, T0E e T1E, também não houve diferença significativa entre os tratamentos T1A, T1E e T2E, apenas T2A difere significativamente entre todos os tratamentos. Sendo que a maior resistência à compressão foi observada para T0E (0,61 MPa), seguido do T0A (0,55 MPa), T1E (0,46 MPa), T1A (0,37 MPa), T2E (0,32 MPa) e por fim T2A (0,20 MPa) que apresentou a média mais baixa em comparação com os demais. Nenhum dos tratamentos obtiveram o valor mínimo de 1,5 MPa recomendado pela NBR 16814:2020. Levando em consideração os coeficientes de variação, todos dados apresentaram baixo coeficiente de variação, isso significa que não ocorreu discrepância nas coletas dos dados, tornando as análises mais confiáveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados obtidos conclui-se que os tijolos de adobe com adição de 5% e 10% de pinus não apresentaram resultados satisfatórios no quesito resistência, uma vez que não atingiram o valor mínimo proposto pela norma, entretanto tiveram um bom resultado no que diz respeito a densidade, pois os mesmos se apresentaram bem leves, o que pode contribuir para uma estrutura mais leve.

Os tratamentos com adição de 5% de maravalhas de pinus, foram os que obtiveram os melhores resultados de resistência, tornando se assim uma referência de traço para o início de novas pesquisas.

Apesar das resistências à compressão terem sido baixas, o material ainda possui potencial de uso se utilizadas dimensões maiores dos tijolos para diminuir as tensões agindo sobre a superfície dos mesmos.

Pela NBR 16814:2020 a resistência a compressão do adobe deve ser maior ou igual a 1,5 MPa, o que deixa evidente que os resultados obtidos nessa pesquisa não foram satisfatórios, entretanto fica em aberto a possibilidade de novos estudos utilizando o pinus como adição no adobe, visto que as características mecânicas do tijolo de terra crua depende de diversos fatores, sendo o principal deles o teor das adições e a proporção de água presente no traço, sendo assim possível adquirir resultados diferentes em estudos futuros.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO, por meio do edital nº 48/2020/REI/IFTO de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIÁRIAS (Brasil). **ESTUDO TÉCNICO DEDICADO À ATUALIZAÇÃO DAS NECESSIDADES HABITACIONAIS 2004-2030**. São Paulo, 2020. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16814**: Adobe –requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo –análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

DE BRITO, Laerte Sousa. **CONSTRUÇÃO ALTERNATIVA PARA UNIDADES HABITACIONAIS DE BAIXA RENDA EM TÉCNICA DE TAIPA**. *Revista SOMMA*, v. 5, n. 1, p. 110-126, 2020.

JÚNIOR, Jaldo Maciel Marinho et al. **PRODUÇÃO DE BLOCOS SUSTENTÁVEIS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS PARA APLICAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS**. *Multidebates*, v. 4, n. 6, p. 101-115, 2020.

MELO, Aluísio Braz et al. **Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada**. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 2, p. 111-124, 2011.

SANTINI, E. J. **Secagem de madeira serrada em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais**. 1981. 201f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1981.