

# Tijolos de adobe de solo-cimento com adição de resíduo de serragem de madeira

## Adobe soil-cement bricks with wood sawdust residue addition

<sup>1</sup>Kamila Oliveira Barroso, <sup>2</sup>Fernanda Gabriela Cardoso Alves Novato, <sup>3</sup>Raul Tadeu Lobato Ferreira

<sup>1</sup>Bacharela em Engenharia Civil – Universidade Federal de Mato Grosso (ka\_oliveira98@hotmail.com)

<sup>2</sup>Bacharela em Engenharia Civil – Universidade Federal de Mato Grosso (fernandagabriela1997@gmail.com)

<sup>3</sup>Professor Assistente – Universidade Federal de Mato Grosso (raul.ferreira@ufmt.br)

**RESUMO:** A degradação e os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil (ICC) são observados em todas as fases de seu processo produtivo. Nesse contexto, tem-se buscado alternativas para reduzir o consumo acelerado de recursos naturais, os danos ambientais, o alto consumo de energia na fabricação de materiais e os custos dos produtos finais, como o desenvolvimento de técnicas construtivas e materiais sustentáveis. Dentro desse contexto, destaca-se o reaproveitamento dos resíduos gerados pela própria indústria da construção civil, de agronegócio e outros setores. O resgate da terra crua para produção de blocos de solo estabilizado é uma das possibilidades de reutilização desses materiais e desenvolvimento sustentável da ICC. Este estudo teve como objetivo verificar a viabilidade da incorporação de serragem de madeira em matriz de solo-cimento para a fabricação de tijolos de adobe, com enfoque em apresentar materiais de construção alternativos e de baixo impacto ambiental. Para isso, foram realizadas análises de resistência à compressão simples, capacidade de absorção de água e retração dos blocos para o período de cura de 7 dias. Os blocos fabricados com a adição de serragem de madeira apresentaram adequado desempenho no que se refere à retração.

**Palavras Chave:** Tijolo cru. Resistência à compressão. Absorção de água. Retração. Construção com terra.

**ABSTRACT:** Degradation and the environmental impacts caused by the civil construction industry (CCI) are observed in all stages of its production process. In this context, alternatives have been sought to reduce the accelerated consumption of natural resources, environmental damages, high energy consumption in material manufacturing, and the costs of final products, such as the development of sustainable construction techniques and materials. Within this context, the reuse of waste generated by the civil construction industry, agribusinesses, and other sectors is highlighted. The reclamation of raw earth for the production of stabilized soil blocks is one of the possibilities for reusing these materials and promoting sustainable development within the CCI. This study aimed to assess the feasibility of incorporating wood sawdust into a soil-cement matrix for the production of adobe bricks, focusing on presenting alternative construction materials with low environmental impact. To achieve this, analyses of simple compressive strength, water absorption capacity, and shrinkage have proceeded for the 7-day cure period. Blocks manufactured with the addition of wood sawdust demonstrated adequate performance in terms of shrinkage.

**Keywords:** Raw brick. Compressive Strength. Water absorption. Shrinkage. Earth construction.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil (ICC) tem papel importante no desenvolvimento econômico e social de um país, sendo que fatores como a qualidade de vida e infraestrutura estão diretamente ligadas a esse setor. A crescente industrialização e o aumento populacional, têm levado ao aumento da urbanização e desenvolvimento do setor construtivo, provocando grande impacto ambiental e o consumo desenfreado de recursos naturais. No Brasil, a ICC é responsável pela geração de mais da metade dos resíduos sólidos urbanos (WEBER *et al.*, 2017; NASCIMENTO, 2017; ALVES, 2018).

Grande parte do impacto ambiental ocasionado pelo setor da construção civil assim como por outras atividades antrópicas, está relacionado com a alta geração de resíduos, os quais raramente recebem tratamento e destinação adequada. Em vista desse cenário, é de

suma importância, a busca por alternativas sustentáveis que reduzam a degradação ambiental ocasionada pelas atividades desse setor. Entende-se como alternativas sustentáveis aquelas que promovam redução no consumo de recursos naturais, pela substituição por resíduos reciclados, redução no consumo de energia, e redução da poluição (PINTO, 2015; WEBER *et al.*, 2017; ALVES, 2018).

Com o desenvolvimento da ICC, práticas tradicionais de menor impacto ambiental, como as técnicas de construção com terra, perderam espaço para novos materiais, no entanto, com o devido aprimoramento essas técnicas construtivas podem ser reintroduzidas no mercado. A terra crua se apresenta como uma alternativa sustentável para o setor construtivo, visto que o solo é um material de grande disponibilidade, reciclável, reutilizável e de baixo custo. Apesar de sua abundância na natureza, nem sempre o solo apresenta propriedades ideais para esse fim, necessitando ser melhorado. Com o objetivo de melhorar as propriedades para esse tipo de aplicação, o solo frequentemente é submetido aos processos de estabilização química e mecânica. A estabilização mecânica é feita por meio da compactação do solo e a estabilização química consiste na mistura do solo com aditivos químicos, como cimento, cal e resinas (MEDINA-MARTINEZ *et al.*, 2023).

O tijolo de terra crua, também chamado de adobe, é uma das técnicas de construção com terra mais antigas, conhecido como a base da arquitetura de várias culturas, como a egípcia e a mesopotâmica. A princípio, os adobes eram confeccionados com uma mistura de terra, água e palha, moldados a mão ou com o auxílio de fôrmas de madeira, e secos ao sol (PINHEIRO *et al.*, 2016). Para o melhoramento dos adobes, no que se refere às propriedades mecânicas e impermeabilização, é bastante comum a adição de aglomerantes químicos e a incorporação de fibras (SANTOS *et al.*, 2018; SCHWEIG *et al.*, 2018; SOLER *et al.*, 2021). No Brasil, os requisitos e os métodos de ensaio para esse tipo de alvenaria são regulamentados pela NBR 16814 (ABNT, 2020).

A estabilização de solos com aglomerantes químicos, como o cimento, favorece o uso desse material na ICC. Em comparação às técnicas de construção com terra tradicionais, o uso de misturas solo-cimento como elemento construtivo pode ser considerado uma evolução, tendo em vista a possibilidade de industrialização e aplicação de um sistema de controle de qualidade no seu processo de fabricação. Em comparação ao tijolo cerâmico tradicional, os tijolos de solo-cimento apresentam a vantagem de consumir menos energia em sua produção, por não serem submetidos ao estágio de queima em sua fabricação. Além disso, os tijolos de solo-cimento são muito versáteis no que diz respeito à possibilidade de incorporação de resíduos em sua composição. Diversas pesquisas tem avaliado o efeito da incorporação de diversos resíduos, como lodo de estações de tratamento de água, bagaço de cana-de-açúcar, polietileno tereftalato (PET), grãos da indústria de celulose, casca de arroz, capim braquiária, escória de alto-forno, entre outros (SENA, SILVA & LAURSEN, 2017; SILVA *et al.*, 2021).

Apesar dos benefícios da estabilização com cimento, como aumento de resistência e rigidez, há um aumento na fragilidade da matriz. Esse efeito pode ser reduzido pela incorporação de fibras nessas misturas, que de modo geral, alteram as propriedades de deformabilidade e tenacidade, reduzem a retração por secagem e aumentam a resistência pós-fissuração (comportamento pós-pico). Essas fibras podem ser naturais, sintéticas e até mesmo provenientes de resíduos de processos agroindustriais, como é o caso da serragem de madeira (CARRASCO, SILVA & MANTILLA, 2014; SCHWEIG, 2017; MEDINA-MARTINEZ *et al.*, 2023).

Além da grande disponibilidade, Medina-Martinez *et al.* (2023) destacam que, devido sua textura, a serragem de madeira pode gerar atrito entre a fibra e a matriz de solo, aumentando sua resistência ao cisalhamento e capacidade de suporte. Segundo Mwangi e Kambole (2019), muitos países produtores de madeira geram mais de 2 milhões de metros cúbicos de serragem por ano, que frequentemente são queimados a céu aberto ou descartados

em local inadequado, aumentando os desafios ambientais relacionados à poluição do ar, emissão de gases de efeito estufa e destruição de ecossistemas.

Levando em consideração a relevância do estudo e da divulgação de materiais de construção alternativos e sustentáveis, bem como os problemas associados ao volume e ao mau gerenciamento dos resíduos da indústria madeireira, este trabalho buscou acrescentar serragem de madeira em tijolos ecológicos de solo-cimento, visando um menor trincamento e retração, bem como a melhoria de suas propriedades mecânicas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia empregada teve como finalidade avaliar o efeito da incorporação de resíduo de serragem de madeira em tijolos de adobe de solo-cimento. Para isso foram propostos diferentes teores de adição para o estudo da incorporação do resíduo. A avaliação das misturas propostas foi feita por meio de ensaios de resistência à compressão simples, absorção de água e retração.

### 2.1 Solo

O presente trabalho fez uso do solo extraído, no ano de 2017, de um local próximo às margens do contorno viário que liga as rodovias BR-070 e BR-158, e também próximo à rodovia MT-100, localizado no município Pontal do Araguaia – MT. Após ser coletado, o solo foi destorroado e peneirado, descartando a fração pedregulho. Schweig *et al.* (2018), utilizando a metodologia da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), classificaram o solo como material granular de classe A-2-4 (0), sendo caracterizado como areia siltosa ou argilosa. Os resultados dos ensaios de caracterização estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do solo utilizado

Granulometria	Areia fina	66,37%
	Silte + Argila	33,63%
Limites de Atterberg	Limite de Liquidez	18%
	Limite de Plasticidade	12%
	Índice de Plasticidade	6%
	Índice de grupo	0
Classificação AASHTO	Classe A-2-4	Material granular, caracterizado como areia siltosa ou argilosa

Fonte: Schweig *et al.* (2018).

### 2.2 Cimento Portland

O aglomerante utilizado nesta pesquisa, para estabilização do solo escolhido, foi o cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z 32), com caracterização física e mecânica enquadrada nas normas. Tendo em vista a classificação do solo apresentada por Schweig *et al.* (2018) e seguindo os teores recomendados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2004), o teor de cimento adotado para as misturas foi de 7% em relação à massa de solo seco.

### 2.3 Serragem de madeira

A serragem de madeira utilizada na pesquisa foi disponibilizada por uma serraria do município de Barra do Garças - MT. Foram coletados cerca de 30 kg de material e durante o período de estocagem o resíduo ficou acondicionado em sacos plásticos. A caracterização da serragem foi feita pela determinação do teor de umidade e análise granulométrica. Na Figura 1 é mostrado o resíduo de serragem de madeira, após ser acondicionado no laboratório.

Figura 1 – Serragem de madeira



O teor de umidade e a granulometria do resíduo madeireiro foram determinados adaptando os procedimentos realizados para caracterização de solos. Para determinação do teor de umidade ( $h$ ), tomou-se cerca de 10 gramas de serragem e determinou-se a massa bruta úmida ( $mbu$ ). Posteriormente, essa porção foi submetida a um período de secagem em estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Após este período, o material foi retirado da estufa e determinou-se a massa bruta seca ( $mbs$ ). O teor de umidade médio da serragem de madeira foi obtido pela média simples de três determinações. Para cada determinação o teor de umidade da amostra foi obtido pela equação a seguir:

$$h = \frac{mbu - mbs}{mbs - m} \times 100 \quad (1)$$

onde  $h$  é o teor de umidade expresso em porcentagem,  $mbu$  é a massa bruta úmida (material + recipiente),  $mbs$  é a massa bruta seca (material + recipiente), e  $m$  é a massa do recipiente. O teor de umidade foi obtido para determinar a massa de serragem seca utilizada na confecção dos tijolos de adobe.

Para determinação da granulometria do resíduo foram utilizadas as peneiras com aberturas de 9,50, 4,75, 2,36, 1,18, 0,60, 0,425, 0,30, 0,15 e 0,075 mm. O conjunto de peneiras foi montado e submetido a um período de agitação mecânica de 5 minutos. Após esse processo a massa de material retida em cada peneira foi determinada para construção da curva granulométrica. Para confecção dos tijolos de adobe, foram selecionadas apenas as fibras passantes na peneira com abertura de 9,50 mm.

### 2.4 Confecção dos blocos de adobe

Foram confeccionados blocos de solo-cimento sem adição e com adição de serragem de madeira. Os teores de resíduo adotados para a confecção dos adobes foram de 1%, 3% e 5% em relação à massa de solo seco, tendo como base os trabalhos desenvolvidos por Silva (2005) e Santos (2009). As misturas produzidas foram submetidas à ensaios de resistência à compressão simples, absorção de água e ensaios de retração.

O processo de produção dos blocos foi adaptado do roteiro de Buson (2009), em que primeiramente umidifica-se as paredes da betoneira com água, adiciona-se a mistura de solo com cimento e resíduo (realizada previamente), e por último, acrescenta-se água à mistura, em pequenas quantidades, até que se atinja uma consistência plástica. Ressalta-se que a quantidade de água utilizada na produção de uma mistura foi replicada nas produções seguintes, quando necessário, visando garantir a mesma umidade para todos os blocos de um mesmo traço. Todos os teores de resíduo e de cimento foram considerados em relação à massa de solo seco. As misturas produzidas e suas respectivas composições são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição das misturas

Nomenclaturas	Combinações	
	Teor de cimento (%)	Teor de serragem de madeira (%)
Solo-cimento	7,0	0,0
SM-1	7,0	1,0
SM-3	7,0	3,0
SM-5	7,0	5,0

Os blocos foram moldados sobre o chão recoberto com uma lona utilizando um molde vazado com dimensões de 12 cm de largura, 24 cm de comprimento e 7 cm de altura, tendo capacidade de confecção de dois blocos simultaneamente. O processo de moldagem, ilustrado na Figura 2, consiste na colocação de pequenas quantidades da massa preparada no molde, que deve estar previamente untado com óleo lubrificante para facilitar o desenforme. Durante o processo de acomodação da massa no molde, deve-se tomar cuidado para que não sejam deixados espaços vazios (não ocupados pela massa). Após preencher a fôrma completamente, os blocos são nivelados retirando o excesso de massa deixando a face superior do bloco lisa. Em seguida o molde é levantado verticalmente para desmolde dos blocos.

Figura 2 – Moldagem dos tijolos de adobe



A cura dos blocos foi realizada ao ar, à temperatura ambiente, em local protegido das intempéries, por um período de sete dias. Durante esse processo, os blocos foram molhados diariamente, no intuito de evitar a perda de umidade e favorecer as reações de hidratação do cimento. Ao final do período de cura, a massa e o volume dos corpos de prova foram aferidos, para se analisar a densidade dos blocos, posteriormente. A densidade dos blocos foi calculada dividindo a massa pelo volume.

### 2.5 Ensaio de retração

O ensaio de retração foi realizado conforme os procedimentos propostos por Buson (2009), sendo adaptados da metodologia proposta pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED, 1999 *apud* BUSON, 2009). Nesse ensaio, a mistura é considerada adequada quando, na análise dos resultados, não apresentar trincas nem retração superior a 2 centímetros. O procedimento consiste no preparo de uma massa de consistência plástica, similar ao barro, que deve ser acondicionada na caixa de ensaio, que apresenta dimensões internas de 3,5 cm de altura, 8,5 cm de largura e 60 cm de comprimento. Na Figura 3 é representado o procedimento de acomodação das misturas na caixa de ensaio.

Figura 3 – Acomodação das misturas na caixa do ensaio de retração



Após acondicionar a mistura na caixa de ensaio, o material fica em repouso, protegido das intempéries, por 7 dias. Findado esse período, se verifica a existência de fissuras e trincas, e é feita a medição da retração do material na direção de maior dimensão da caixa, com precisão de 1 mm.

### 2.6 Ensaio de absorção de água

Para determinação da absorção de água foram analisados três corpos de prova para cada mistura. Após o período de cura, os blocos foram submetidos a um período de secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, para então determinar sua massa bruta seca (M1). Após isso os blocos foram submersos em água a temperatura ambiente por 24 horas. Findado esse período, os blocos foram retirados da água, secos superficialmente e pesados novamente, determinando assim sua massa bruta úmida (M2). Para cada mistura, os teores de absorção de água foram obtidos pela média simples de três determinações. A absorção de água (A) de cada bloco submetido a esse processo, expressa em porcentagem, foi obtida pela equação a seguir:

$$A = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (2)$$

### 2.6 Ensaio de resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples foi conduzido com o objetivo de verificar o efeito que a adição do resíduo tem na resistência à compressão do bloco em relação aqueles sem nenhum tipo de adição. A preparação dos corpos de prova para o ensaio se deu pelo capeamento da face superior do tijolo com argamassa de cimento após 7 dias de cura. Conforme proposto por Silva (2015) e Schweig *et al.* (2018), a argamassa produzida para este fim possui traço de 1:2, com umidade de 25%, e foi aplicada com espessura máxima de 3 mm. Este procedimento teve como objetivo paralelizar as faces comprimidas.

Após um período de 24 horas, para a cura da argamassa, colocou-se o bloco de forma centralizada no prato da máquina de ensaio de compressão. Duas placas metálicas foram utilizadas para transferir a carga ao corpo de prova de modo uniforme. As amostras foram submetidas à verificação da resistência à compressão, com uma taxa de deformação de 50 mm/min. Nesse procedimento foram avaliados 10 blocos de cada mistura após um período de cura de 7 dias.

A resistência dos blocos também foi avaliada em uma condição crítica. Os blocos submetidos ao ensaio de absorção de água foram submetidos ao teste de resistência. Nesse procedimento também foram utilizadas as placas metálicas para transferência uniforme da carga aplicada pela máquina de ensaio, e a taxa de deformação também foi de 50 mm/min.

### 2.7 Análise estatística

Os valores de resistência à compressão e teor de água absorvido foram tratados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) e teste de comparações múltiplas de médias (teste Tukey) utilizando o software gratuito Paleontological Statistics (PAST) versão 3.22. A ANOVA foi feita com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre as misturas com diferentes teores de resíduo, e o teste Tukey foi aplicado com o intuito de identificar quais composições apresentaram diferença significativa.

Na análise da existência de diferenças significativas entre as composições foram levantadas duas hipóteses: a hipótese nula, que considera não haver diferença entre as médias, e a hipótese alternativa, em que nem todas as médias são iguais. Em todas as análises foi considerado satisfatório o nível de significância ( $p$ ) de 5%. Se  $p \leq 5\%$ , a hipótese nula é rejeitada, indicando a existência de diferença significativa entre as médias, e se  $p > 5\%$ , não existem diferenças significativas entre as médias.

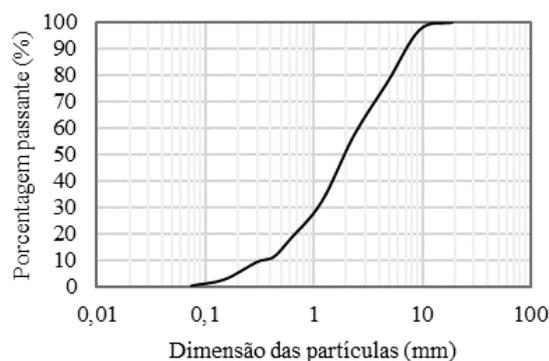
## 3. RESULTADOS/ DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos considerando a metodologia proposta. Primeiramente, é apresentada a caracterização do resíduo de madeira, seguida da análise da retração, absorção de água e resistência à compressão das misturas propostas. Com a análise desses resultados é feita a definição do teor ótimo de resíduo e o apontamento dos benefícios observados com esse tipo de adição

### 3.1 Caracterização do resíduo de madeira

Na Figura 4 é apresentada a curva granulométrica do resíduo de serragem de madeira. É possível observar um desenvolvimento contínuo da curva, indicando uma boa graduação. No que diz respeito à umidade, o teor médio obtido foi de 44,2 %.

Figura 4 – Curva granulométrica do resíduo de madeira



Segundo Teixeira e Carvalho (2005), a serragem de madeira pode ser classificada em fina, média e grossa, sendo que a serragem fina contempla partículas com dimensões menores ou igual a 0,59 mm, a serragem média, partículas variando de 0,59 mm a 4,76 mm, e a serragem grossa de 4,76 mm a 19,10 mm. Analisando a curva granulométrica é possível notar a predominância de serragem de granulometria média (cerca de 45%).

### 3.2 Retração

Os valores médios de retração e o aspecto das misturas propostas após 7 dias são apresentados na Tabela 3 e na Figura 5, respectivamente. Como pode ser observado, apenas a mistura de referência (solo-cimento) apresentou trinca ao final do período de avaliação, não sendo recomendada para utilização como material construtivo, mesmo apresentando uma retração menor que o valor máximo admissível recomendado pelo CEPED (1999 *apud* BUSON, 2009).

Tabela 3 – Retração média das misturas

Mistura	Solo-cimento	SM-1	SM-3	SM-5
Retração média (mm)	3,0	3,0	2,0	1,0

Figura 5 – Aspecto das misturas após 7 dias de cura (ensaio de retração)



Como esperado, a retração das misturas diminui com o aumento do teor de fibra na composição. Nota-se um decréscimo na retração das misturas SM-3 e SM-5 em relação à amostra de referência, de 33% e 66%, respectivamente. Apesar de não se observar efeito notável da adição de 1,0% de serragem de madeira na retração da mistura solo-cimento, destaca-se o efeito benéfico desse teor no controle da fissuração.

### 3.4 Absorção de água

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água estão apresentados na Figura 6 e na Tabela 4. Com os resultados apresentados se observa que quanto maior o teor de serragem de madeira na mistura, maior é a capacidade de absorção de água dos blocos.

Figura 6 – Média da absorção de água aos 7 dias de cura

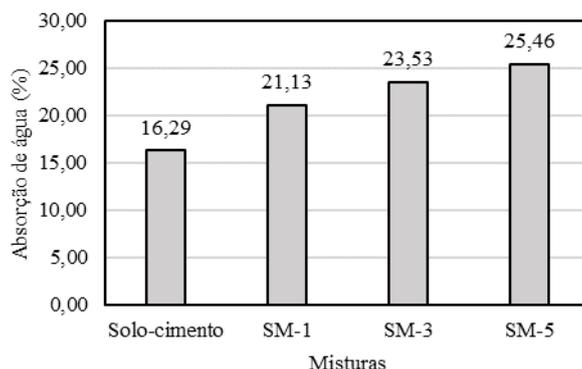


Tabela 4 – Absorção de água ( $\pm$ desvio padrão)

Mistura	Absorção de água (%)	$\Delta$ (%)
Solo-cimento	16,29 $\pm$ 1,08	-
SM-1	21,13 $\pm$ 0,39	30
SM-3	23,53 $\pm$ 0,58	44
SM-5	25,46 $\pm$ 1,58	56

Nota:  $\Delta$  (%) é a variação da absorção de água em relação à mistura de referência (solo-cimento)

Com o tratamento estatístico dos dados nota-se que a adição de serragem promove efeitos significativos na capacidade de absorção de água dos tijolos ( $p < 0,05$ ). Avaliando essa propriedade, todas as misturas com adição de serragem divergem significativamente da amostra controle (solo-cimento).

O aumento da absorção de água com a incorporação da serragem de madeira está diretamente relacionado com o aumento da porosidade dos compostos. Esse efeito também pode ser observado na variação na densidade dos blocos das misturas SM-1, SM-3 e SM-5 em relação aos blocos de referência (solo-cimento), cujos valores são apresentados na Figura 7 e na Tabela 5.

Figura 7 – Densidade média dos blocos após 7 dias de cura

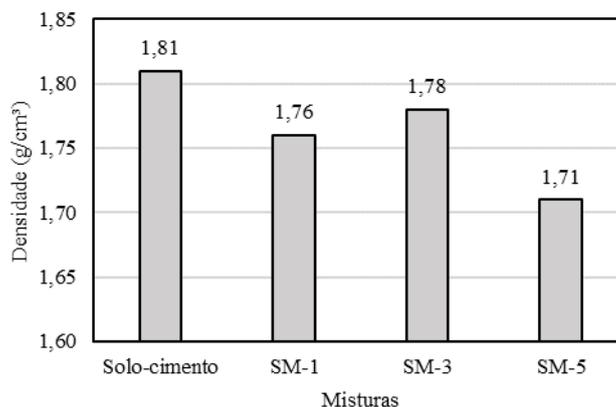


Tabela 5 – Densidade média ( $\pm$ desvio padrão)

Mistura	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	$\Delta$ (%)
Solo-cimento	1,81 $\pm$ 0,05	-
SM-1	1,76 $\pm$ 0,04	-3
SM-3	1,78 $\pm$ 0,02	-2
SM-5	1,71 $\pm$ 0,02	-6

Nota:  $\Delta$  (%) é a variação da densidade em relação à mistura de referência (solo-cimento)

O mesmo comportamento é observado por outros autores ao incorporarem outros tipos de fibras em misturas solo-cimento para confecção de tijolos de adobe. Schweig et al. (2018) também observam um aumento na absorção de água ao incorporar fibras de papel kraft reciclado, enquanto Soler et al. (2021) notaram uma leve redução da densidade dos blocos ao incorporar fibras de polietileno reciclado.

### 3.4 Resistência à compressão

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão simples estão apresentados na Figura 8 e na Tabela 6. De modo geral, no que diz respeito à resistência à compressão, a incorporação de serragem de madeira não apresentou benefícios. O valor médio de resistência à compressão de todas as misturas contendo resíduo em sua composição ficou abaixo do valor médio da resistência da mistura de referência (solo-cimento). Após os 7 dias de cura, as misturas SM-1, SM-3 e SM-5 apresentaram, respectivamente uma redução de resistência de 5%, 33% e 27% em relação à mistura de solo-cimento sem adição de resíduo.

Figura 8 – Resistência à compressão média aos 7 dias de cura

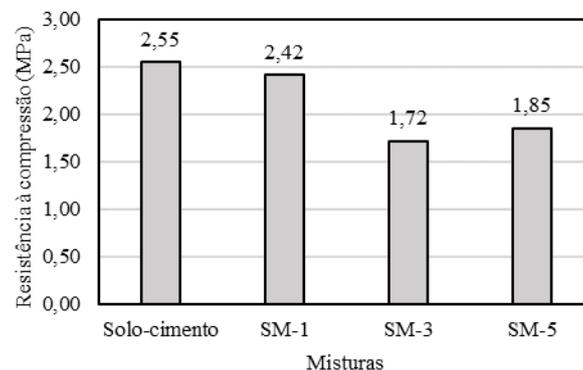


Tabela 6 – Resistência à compressão ( $\pm$ desvio padrão)

Mistura	Resistência à compressão (MPa)	$\Delta$ (%)
Solo-cimento	2,55 $\pm$ 0,15	-
SM-1	2,42 $\pm$ 0,21	-5
SM-3	1,72 $\pm$ 0,10	-33
SM-5	1,85 $\pm$ 0,14	-27

Nota:  $\Delta$  (%) é a variação da resistência em relação à mistura de referência (solo-cimento)

Com o tratamento estatístico dos dados foi possível notar que nem todas as misturas com serragem de madeira diferem-se significativamente da mistura de referência (solo-cimento), apenas as misturas SM-3 e SM-5 divergem significativamente da mistura sem adição de resíduo ( $p < 0,05$ ).

Os valores médios de resistência à compressão dos blocos submetidos à imersão em água por 24 horas são apresentados na Figura 9 e na Tabela 7. Com base nos resultados apresentados é possível notar o decréscimo da resistência após a imersão.

Figura 9 – Resistência à compressão média após imersão em água

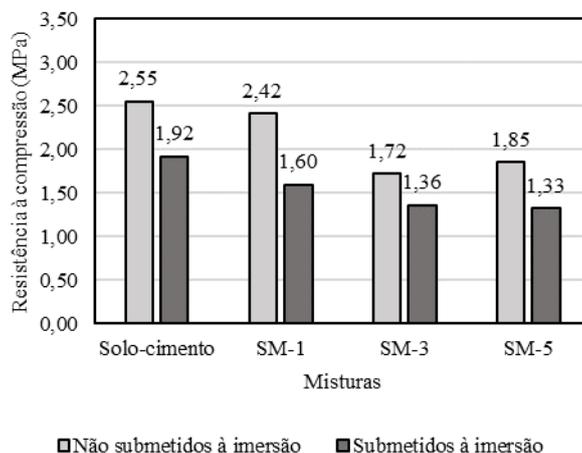


Tabela 7 – Resistência à compressão média após imersão ( $\pm$ desvio padrão)

Mistura	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência à compressão após imersão em água (MPa)	$\Delta i$ (%)
Solo-cimento	2,55 $\pm$ 0,15	1,92 $\pm$ 0,26	-25
SM-1	2,42 $\pm$ 0,21	1,60 $\pm$ 0,03	-34
SM-3	1,72 $\pm$ 0,10	1,36 $\pm$ 0,24	-21
SM-5	1,85 $\pm$ 0,14	1,33 $\pm$ 0,07	-28

Nota:  $\Delta i$  (%) é a variação da resistência dos blocos imersos em relação aos blocos não submetidos à imersão

Com o tratamento estatístico dos dados nota-se que a imersão em água promove uma perda de resistência à compressão significativa para a maioria das misturas ( $p < 0,05$ ). Apesar de, em linhas gerais, parecer que a perda de resistência após imersão em água diminui com o aumento do teor de serragem na composição, os valores de resistência após imersão em água de todas as misturas contendo resíduo em sua composição não apresentam diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ ). Ou seja, estatisticamente, para as misturas estudadas, a resistência à compressão dos blocos após imersão em água é a mesma.

No estudo de misturas solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil, Santos (2009), observou comportamentos semelhantes aos apresentados no presente estudo. Mesmo com compactação mecânica, a incorporação de resíduo de madeira aumentou a absorção de água em relação à mistura de referência e reduziu a massa específica aparente seca máxima e a resistência à compressão simples.

#### 4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a adição da serragem de madeira aumenta de modo significativo a absorção de água e conseqüentemente aumenta a porosidade dos blocos de solo-cimento confeccionados com o solo selecionado. Esse aumento de porosidade se relaciona diretamente com a perda de resistência observada, sobretudo após a imersão dos blocos em água.

Apesar de a incorporação de resíduo madeireiro não ter promovido melhorias na resistência à compressão dos tijolos, é importante destacar que a inserção dessas fibras neutralizou o potencial de fissuração da matriz.

Sob o ponto de vista normativo, todas as misturas estudadas, para um período de cura de 7 dias, atendem ao critério de resistência à compressão maior ou igual a 1,5 MPa, especificado pela NBR 16814 (ABNT, 2020). No entanto, é importante salientar que o método de avaliação da resistência previsto pela normativa é diferente do que foi utilizado no desenvolvimento do presente estudo.

Dentre as misturas estudadas, a mistura SM-1 foi a que apresentou o melhor desempenho. Apesar de apresentar absorção de água significativamente maior que a mistura de referência, a mistura SM-1 não apresentou trincas ou fissuras aos 7 dias de cura e sua resistência à compressão não divergiu significativamente da mistura de solo-cimento sem adição de resíduo.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. A. *et al.* Extração de sílica residual proveniente da casca de arroz e aplicação na produção de argamassa. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.13, n.2, p.127-136, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento**: Normas de dosagem e Métodos de ensaio. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16814**: Adobe – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020. 26 p.

BUSON, M. A. **Kraftterra: Desenvolvimento e Análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical**. 2009. Tese (Doutorado). 135f. Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2009.

CARRASCO, E. V. M.; SILVA, S. R.; MANTILLA, J. N. R. Assessment of Mechanical Properties and the Influence of the Addition of Sawdust in Soil-Cement Bricks Using the Technique of Ultrasonic Anisotropic Inspection. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 26, n.2, 2014. [https://dx.doi.org/10.3390/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000723](https://dx.doi.org/10.3390/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000723).

MEDINA-MARTINEZ, C. J. *et al.* Use of sawdust fibers for soil reinforcement: a review. **Fibers**, v.11, n.58, 2023. <https://doi.org/10.3390/fib11070058>.

MWANGO, A.; KAMBOLE, C. Engineering Characteristics and Potential Increased Utilization of Sawdust Composites in Construction – A review. **Journal of Building Construction and Planning Research**, v. 7, 2019. <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2019.73005>.

NASCIMENTO, L. C. **Classificação dos resíduos de construção e demolição (RCD) e potencialidade de reciclagem ou reutilização em obras de edificação na região de Ipojuca: Muro Alto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo). 25f. Tecnólogo em Construção Civil, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017.

PINHEIRO, L. *et al.* **Panorama da Produção de Obras em Terra Crua com Design Contemporâneo nos Últimos 60 Anos no Brasil**. In: 2º Congresso Internacional da História da Construção Luso-Brasileira, 2016, Porto, Portugal, 2016.

PINTO, L. M. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). 59f. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

SANTOS, I. B. *et al.* Adobe soil-lime bricks reinforced with kraft paper fibers. **International Journal of Materials Engineering**, v.8, p.128-133, 2018. <https://doi.org/10.5923/j.ijme.20180805.07>.

SANTOS, M. P. **Fabricação de solo-cimento com adição de resíduos de madeira provenientes da construção civil**. 2009. Dissertação (Mestrado). 108f. Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

SCHWEIG, E. O. *et al.* Adobe soil-cement bricks reinforced with kraft paper fibers. **International Journal of Materials Engineering**, v.8, p.101-108, 2018. <https://doi.org/10.5923/j.ijme.20180805.04>.

SCHWEIG, E. O. **Tijolos de adobe de solo-cimento reforçados com fibras de papel kraft reciclado**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). 106f. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Mato Grosso, 2017.

SENA, R. J.; SILVA, J. S.; LAURSEN, A. **Avaliação mecânica de tijolo maciço solo-cimento contendo resíduo de PET**. In: Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia, 2017. <https://doi.org/10.29327/13461>.

SILVA, B. A. **Estudo de misturas solo cimento agregado reciclado de telhas cerâmicas para fabricação de blocos para alvenaria**. 2015. Dissertação (Mestrado). 279f. Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015. <https://doi.org/10.14393/ufu.di.2015.250>

SILVA, S. R. **Tijolos de solo-cimento reforçados com serragem de madeira**. 2005. Dissertação (Mestrado). 219f. Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SILVA, T. R. *et al.* Soil-cement blocks: a sustainable alternative for the reuse of industrial solid waste. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v.56, n.4, p.637-686, 2021. <https://doi.org/10.5327/Z21769478956>.

SOLER, R. J. L. R. *et al.* **Uso de resíduos plásticos para reforço de tijolos de adobe de solo-cimento**. In: 4º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, CONRESOL, 2021, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, 2021.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. A construção civil como instrument do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n. 109, p.9-26, 2005.

WEBER, A. M. *et al.* Análise da influência do traço nas propriedades do compósito cimento-madeira. **Principia**, n.36, p.50-59, 2017. <https://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n36p50-59>.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.