EDIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL - ANÁLISE DA QUALIDADE DE TIJOLOS ECOLÓGICOS E DO USO DE PAREDES VERDES

SUSTAINABLE BUILDING – ANALYSIS OF THE QUALITY OF ECOLOGICAL BRICKS AND THE USE OF GREEN WALLS

Laís Consani Brejão Degregório Gerônimo[1], Luisa Gonçalves Chiodin[1], Luisa Martins Salvetti[1], Fátima Fernandes Della Rocca (orientadora)[1], Paulo Eduardo de Oliveira Andrade (orientador)[2]

[1]Colégio Jean Piaget, Santos, SP
[2]Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: fatimarocca@jeanpiaget.g12.br / pauloandrade@unisanta.br

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma edificação sustentável com tijolos ecológicos e paredes verdes, reduzindo custos, otimizando recursos e melhorando o conforto térmico. O procedimento incluiu a coleta e caracterização do solo, fabricação de tijolos nas proporções de cimento - areia de 1:6, 1:8 e 1:10, realização de ensaios de resistência à compressão e absorção de água, e construção de parede verde com reuso de garrafas plásticas como vasos. Os resultados dos ensaios mostraram que os tijolos apresentaram nível de absorção de água dentro dos requisitos de norma, mas não atingiram a resistência mínima estrutural exigida, assim a parede verde funcionou bem para vedação e paisagismo. O projeto atingiu os objetivos e sugere continuidade para ampliar aplicações sustentáveis.

Palavras-chave: Tijolo ecológico; Arquitetura sustentável; Parede verde; Tijolos de solo-cimento.

ABSTRACT – The objective of this work was to develop a sustainable building using eco-friendly bricks and green walls, aiming to reduce costs, optimize resources, and improve thermal comfort. The procedure included soil collection and characterization, brick production using cement-to-sand ratios of 1:6, 1:8, and 1:10, compression strength and water absorption testing, and the construction of a green wall using reused plastic bottles as planters. The test results showed that the bricks met the water absorption requirements according to standards but did not reach the minimum structural strength required. However, the green wall

performed well for sealing and landscaping purposes. The project achieved its goals and suggested further development to expand sustainable applications.

Keywords: Ecological brick; Sustainable architecture; Green wall; Soil-cement bricks.

1 INTRODUÇÃO

A grande preocupação com os impactos ambientais, sociais e econômicos provocados pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas têm impulsionado a busca por soluções mais sustentáveis no setor da construção civil. Nesse contexto, a arquitetura sustentável surge como uma resposta que visa reduzir os efeitos negativos das edificações sobre o meio ambiente, ao mesmo tempo em que promove eficiência no uso de recursos naturais e melhora a qualidade de vida dos moradores. Segundo Kibert (2016), a construção sustentável pode ser compreendida como a criação e a gestão responsáveis de um ambiente construído saudável, fundamentada em princípios de eficiência, equilíbrio ecológico e respeito ambiental.

A necessidade urgente de desenvolver práticas construtivas menos danosas ao meio ambiente é a principal motivação desta pesquisa, sobretudo diante do avanço da urbanização e do agravamento dos impactos do aquecimento global. A construção tradicional, muitas vezes, contribui diretamente para o aumento da emissão de gases poluentes, da degradação ambiental e da formação de ilhas de calor urbanas. De acordo com o Global Alliance for Buildings and Construction (UNEP, 2020), o setor da construção é responsável por cerca de 30% das emissões globais de CO_2, reforçando a importância de práticas sustentáveis e tecnologias verdes.

Nesse cenário, é essencial compreender como a utilização de materiais naturais e sustentáveis, combinada à implementação de paredes verdes, pode contribuir para edificações mais ecológicas, eficientes e integradas ao meio urbano. Esses recursos representam alternativas viáveis para reduzir o consumo energético, minimizar a emissão de poluentes e melhorar o conforto térmico dos edifícios. As paredes verdes, por exemplo, atuam como isolantes térmicos naturais, reduzindo a absorção de calor pelas fachadas e promovendo maior estabilidade térmica no interior das construções (LOTFI, 2024). Além disso, ajudam na retenção da água da chuva, na purificação do ar urbano e na diminuição do efeito de ilha de

calor, fatores essenciais para cidades densamente urbanizadas (VITALIANO, 2024; PEREIRA JÚNIOR *et al*., 2018).

Da mesma forma, os materiais naturais e de baixo impacto, como o solo do próprio terreno e os tijolos ecológicos, destacam-se por reduzirem custos e o uso de recursos não renováveis. Esses tijolos, produzidos sem queima e com encaixe modular, diminuem o consumo de cimento, reduzem resíduos e otimizam o tempo de construção (SEBRAE, 2025).

O objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar soluções construtivas sustentáveis por meio do uso de materiais ecológicos e técnicas verdes, com foco na implementação de paredes verdes e na fabricação de tijolos ecológicos a partir de materiais locais, buscando reduzir custos, aumentar a eficiência energética e promover a sustentabilidade ambiental.

A relevância deste estudo está nas implicações ambientais, econômicas e sociais dessas práticas, com foco em como elas podem melhorar o conforto térmico, diminuir o impacto ambiental das construções convencionais e elevar a qualidade de vida dos moradores. A escolha do tema justifica-se pela necessidade de repensar os atuais modelos de urbanização e de incentivar práticas construtivas alinhadas aos princípios da sustentabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é de caráter experimental com o objetivo de avaliar o desempenho de tijolos ecológicos produzidos com solo local, cimento e água. O estudo compreendeu a coleta e caracterização do solo, a dosagem e a moldagem de corpos de prova em três traços de cimento-areia, a cura controlada, a realização de ensaios de resistência à compressão e de absorção de água, conforme normas da ABNT, e, por fim, a montagem de um protótipo de parede verde para demonstrar a aplicação. Todo o procedimento foi planejado para permitir replicação, indicando local de coleta, massas, equipamentos, normas adotadas e etapas detalhadas.

Foram coletados 35,9 kg de solo em terreno em fase final de demolição e retirada dos resíduos, situado na Avenida Conselheiro Rodrigues Alves, junto à Rua Campos Melo, no município de Santos/SP. Para a coleta, a camada superficial argilosa (aproximadamente um metro de profundidade) foi desprezada pois continha resíduos da construção anterior, e escavou-se, com ajuda de retroescavadeira da obra, até cerca de dois metros para atingir a

camada arenosa típica da região. Participaram estudantes e orientadores, responsáveis por coleta, preparo das misturas e moldagem dos tijolos.

Após a coleta, o solo foi preparado, com secagem em estufa a 110 °C e, quando necessário, quarteamento para garantir amostras representativas. O teor de umidade inicial foi determinado por método gravimétrico: registraram-se as massas da cápsula metálica padronizada nº 184 vazia (A), da cápsula com solo úmido (B) e da cápsula com solo seco (C) após estufa; o teor de umidade foi calculado como a razão entre a massa de água (B menos C) e a massa de solo seco (C menos A), expressa em porcentagem.

Em seguida, realizou-se a análise granulométrica conforme a ABNT NBR 7181:2016. Para isso, 200 g de solo seco foram submetidos a uma coluna de oito peneiras com aberturas de 4,8 mm a 0,074 mm, da maior para a menor abertura, com agitação e posterior pesagem das massas retidas, obtendo-se a distribuição por classes de tamanho e a indicação relativa de areia, silte e argila, usada para orientar a dosagem.

Dada a elevada fração de partículas finas observada, adotou-se a adição de cimento, estudando-se três proporções cimento-areia: 1:6, 1:8 e 1:10. As quantidades foram definidas para produzir quatro corpos de prova nos traços 1:6 e 1:8 e oito corpos de prova no traço 1:10, com massas totais entre cerca de 7,7 kg e 15,8 kg por lote. A água foi ajustada para garantir coesão e trabalhabilidade uniformes entre os lotes. A mistura de solo, cimento, areia e água foi feita em masseira até completa homogeneização e, em seguida, depositada em formas de silicone. A geometria funcional do tijolo incluiu um vão em uma face, obtido pela inserção de um corpo cilíndrico, e a incorporação da base de garrafa de Gatorade invertida na outra metade, com pequenos furos para drenagem, formando um módulo vaso integrado ao tijolo, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: Mistura já enformada com as garrafas fixadas.



Fonte: Autoria própria.

A desforma ocorreu aproximadamente 48 horas após a moldagem, quando os tijolos apresentaram resistência suficiente para manuseio. A cura prosseguiu por 28 dias, com umedecimento diário, visando atingir pelo menos 70% da resistência prevista. Não se realizou secagem em estufa antes do ensaio de compressão para preservar a hidratação do cimento.

Os ensaios de desempenho seguiram as ABNT NBR 8492 (procedimentos) e NBR 8491 (requisitos). Para a resistência à compressão, cortou-se cada tijolo ao meio com serra elétrica (makita), empilharam-se as metades unidas por pasta de cimento e niveladas por placa metálica, e ensaiou-se na máquina de compressão na menor taxa de aplicação de carga, utilizando o fator de correção do equipamento. A resistência foi calculada como a força máxima dividida pela área efetiva do tijolo, correspondente à área retangular menos a área do furo central.

O ensaio de absorção de água foi conduzido com secagem em estufa a 110 °C e pesagens diárias até massa constante, seguida de imersão em água por 24 horas. Observaram-se bolhas como indicativo de porosidade e, ao fim, determinou-se a absorção pela diferença entre a massa úmida e a massa seca, dividida pela massa seca, em porcentagem.

Para validar a aplicação, construiu-se um protótipo de parede verde com os vasos integrados aos tijolos, que permaneceram aderidos após a cura. A montagem considerou alinhamento e drenagem; os vasos receberam camada de pedras, substrato e mudas de jibóia (Epipremnum pinnatum), espécie selecionada por rusticidade, facilidade de manutenção e baixo custo, seguida de rega inicial.

As variáveis independentes do estudo foram os traços cimento-areia (1:6, 1:8, 1:10), o teor de água de amassamento e a geometria do furo; como variáveis dependentes, avaliaram-se a resistência à compressão (em MPa) e a absorção de água (em %); como variáveis controladas, mantiveram-se a origem e a massa do solo, o procedimento de peneiramento, as condições de cura (28 dias com umidificação diária), as massas por lote, as dimensões de moldagem, a taxa de carregamento e a temperatura da estufa. As medições incluíram massas em balança calibrada, forças na máquina de compressão e dimensões com paquímetro ou régua. Os cálculos contemplaram umidade, distribuição granulométrica, área efetiva, resistência e absorção; as médias por traço foram comparadas e os resultados discutidos frente aos requisitos da NBR 8491, com registros em planilhas e rastreabilidade por amostra, data e operador.

A metodologia adotada combina caracterização do solo e ensaios normatizados de desempenho para responder diretamente às questões de viabilidade mecânica e de comportamento hídrico dos tijolos. A variação sistemática do teor de cimento permite analisar a sensibilidade do desempenho em solo com alta fração fina, enquanto o protótipo de parede verde demonstra a aplicabilidade prática e o potencial de reaproveitamento de plástico. Entre as premissas, consideraram-se a homogeneidade do solo e a calibração dos equipamentos; os controles incluíram massas alvo por traço e taxa de carregamento mínima. As limitações do estudo abrangem o uso de solo de um único local, a avaliação de apenas três traços e a ausência de ensaios adicionais de durabilidade, que são recomendados para pesquisas futuras. Com as etapas descritas, outro pesquisador pode replicar o estudo, reproduzindo as dosagens, a moldagem, a cura e os mesmos ensaios, obtendo resultados comparáveis e verificáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a análise granulométrica e a caracterização do solo, foram avaliadas a fração de cada componente e a umidade da amostra. Com base nesses resultados, o solo pode ser caracterizado como um solo arenoso fino, pois a maior parte das partículas ficou nas peneiras de 0,15 mm e 0,074 mm, apresentando baixa quantidade de partículas grossas, pouca fração de argila e sendo composto principalmente por grãos pequenos de areia fina.

A umidade do solo foi determinada durante o processo de secagem em estufa, garantindo que toda a água presente fosse removida para que não interferisse nos testes seguintes. Por meio da análise granulométrica de uma amostra de 50 gramas de solo, obtivemos os resultados apresentados no Quadro 1, a seguir.

De acordo com os resultados de carga limite obtidos para cada corpo de prova no ensaio de compressão, aplicou-se o fator de correção do anel, obtendo-se o valor em quilograma-força (kgf) — força exercida sobre uma massa de um quilograma. Em seguida, esse valor foi dividido pela área efetiva de cada tijolo e o resultado obtido foi convertido para a unidade de pressão em megapascal (MPa), permitindo a determinação da resistência limite de cada amostra. O Quadro 2 mostra os resultados referentes a cada proporção testada.

Quadro 1: Resultados da caracterização granulométrica do solo.

Peneira	Peso retido (gramas)	Peso retido acumulado (g)	Porcentagem retida acumulado (%)	Porcentagem passado (%)
4,8 mm	1,01g	1,01g	2,02%	97,98%
2,4 mm	0,22g	1,23g	2,46%	97,54%
2,0 mm	0,23g	1,46g	2,92%	97,08%
1,2 mm	0,54g	2,0 g	4,0%	96,0%
0,6 mm	0,52g	2,52g	5,04%	94,96%
0,42 mm	0,84g	3,36g	6,72%	93,28%
0,3 mm	1,90g	5,26g	10,52%	89,48%
0,15 mm	43,58 g	48,83g	97,67%	2,32%
0,075 mm	50,77g	49,61 g	99,22%	0,78%
Fundo	0,37g	49,98g	99,96%	0,04%

Quadro 2: Resultados de resistência à compressão dos tijolos.

Tijolo	Carga (Kgf)	Carga Corrigida (Kgf)	Área (cm^2)	Resistência (Kgf/cm^2)	Resistência em MPa
1:10	376	722,8224	71,1148	10,164	1,0164
1:8	439,4	844,7025	70,61	11,962	1,1962
1:6	547,96	1053,398	67,73	15,552	1,5552

Pela NBR 10836:2013, o tijolo de solo-cimento deve ter resistência mínima de 2,0 MPa, cerca de 20 kgf/cm². Com uma área entre 67 e 71 cm², ele precisa suportar aproximadamente de 1.367 a 1.448 kgf para atender à norma. os tijolos não ficaram dentro do exigido.

Os resultados do ensaio de absorção de água foram obtidos a partir da diferença entre a massa do tijolo úmido e a massa do tijolo seco. Esse valor foi dividido pela massa inicial do tijolo seco e multiplicada por cem, resultando no percentual de absorção. A equação utilizada para o cálculo da absorção de água é: Absorção (%) = (Úmido – Seco) / Seco × 100.

A partir dela, foi possível calcular os percentuais correspondentes, organizando os resultados no Quadro 3, que apresenta os valores medidos e os índices de absorção obtidos para cada amostra.

Quadro 3 - Resultados de absorção de água dos tijolos

	1:10	1:8	1:6
Tijolo Seco	1852,26 g	1670,92 g	1917,52 g
Tijolo úmido	2222,34 g	1982,74 g	2217,28 g
Água	370,08 g	311,82 g	299,76 g
Absorção	19,97 %	18,66 %	15,63 %

Fonte: Autoria própria

A norma ABNT NBR 10836/2013 estabelece que o índice de absorção de água para tijolos de solo-cimento não deve ultrapassar 20% da massa seca. Valores abaixo desse limite indicam maior qualidade, pois refletem maior resistência e durabilidade. No caso analisado, como o valor obtido não ultrapassou o limite estabelecido, isso demonstra que o tijolo apresenta boa qualidade. Ainda assim, pode-se utilizar impermeabilizantes caso se deseje reduzir ainda mais a porcentagem de absorção.

Para a construção das paredes, os tijolos foram apenas sobrepostos, sem a utilização de argamassa entre as juntas (Figura 2).

Figura 2: Parede verde com o plantio de jiboia.



Os resultados mostraram que o solo utilizado é um solo arenoso fino, adequado para a fabricação de tijolos de solo-cimento. Nos testes de resistência à compressão, todos os tijolos ficaram abaixo do mínimo exigido pela ABNT NBR 10836/2013 (2,0 MPa).

Nesse sentido, em primeiro plano, as principais limitações foram à compactação e o processo de cura dos tijolos. Como a proporção de cimento na mistura já era baixa, a reação de cura — que é o processo químico em que o cimento reage com a água que endurece o material — não ocorreu de maneira completa. Sem quantidade suficiente de cimento para se hidratar, o tijolo não conseguiu desenvolver toda a resistência mecânica necessária, o que explica os

valores abaixo do esperado. Esse resultado mostra a importância de escolher proporções adequadas, sendo indicado, por exemplo, utilizar a relação 1:4 (cimento:solo), que fornece mais ligante e aumenta a capacidade de endurecimento.

Outro fator foi a ausência de prensa durante a moldagem. A prensagem tem como função aumentar a compactação, reduzindo a quantidade de vazios dentro do tijolo. Quando essa etapa é feita apenas de forma manual, a densidade do material fica menor, e isso compromete diretamente a resistência. Ou seja, ainda que o método manual seja mais simples e econômico, ele gera tijolos menos resistentes e menos homogêneos em comparação aos produzidos sob pressão controlada.

No entanto, isso não significa que sejam inviáveis: eles ainda podem ser utilizados como elementos de vedação, onde a exigência estrutural é menor. Em outras palavras, sua função é dividir ambientes e fechar espaços, sem assumir o papel de suportar cargas significativas.

Em segundo plano, no ensaio de absorção de água, todos os tijolos apresentaram resultados inferiores ao limite de 20% estabelecido pela NBR 10836:2013. Esse parâmetro é relevante porque a absorção de água está diretamente relacionada à durabilidade e ao desempenho do material: quanto menor a absorção, menor a probabilidade de ocorrência de fissuras e processos de deterioração ao longo do tempo.

Dessa forma, os resultados indicam que, mesmo com o uso de proporções elevadas de areia na mistura e sem a adição de qualquer tipo de agentes impermeabilizantes, não houve comprometimento significativo no comportamento dos tijolos frente à absorção de água. O fato de todos os tijolos permanecerem dentro do limite normativo indica que, apesar das limitações observadas em termos de resistência à compressão, o processo de produção adotado resultou em blocos com baixa porosidade relativa e bom comportamento frente à penetração de água.

Isso reforça sua viabilidade em aplicações não estruturais, como paredes de vedação, onde a resistência mecânica não é o fator mais determinante, mas a durabilidade e a proteção contra umidade são aspectos essenciais.

Por sua vez, em último plano, a construção da parede verde foi considerada bem-sucedida, alcançando de forma parcial os objetivos traçados em relação aos benefícios esperados desse tipo de solução. Durante a execução, foi possível realizar o plantio completo das mudas, utilizando pedras e terra diretamente nas garrafas de Gatorade que haviam sido fixadas no

momento da moldagem dos tijolos. Além do aspecto funcional, a parede verde também cumpriu um bom papel estético. A disposição das plantas contribuiu para a aparência dos tijolos aparentes.

Finalmente, reconhecemos que os resultados obtidos ainda são iniciais e parciais. Por esse motivo, pretendemos dar continuidade à pesquisa em etapas futuras, realizando testes mais amplos e de longo prazo, a fim de avaliar os benefícios ambientais e térmicos.

4 CONCLUSÃO

Os objetivos do projeto foram parcialmente alcançados, com a produção de tijolos de solo-cimento, avaliação de suas propriedades físicas e aplicação em uma parede verde com função paisagística e de vedação. Os tijolos atenderam aos critérios de absorção de água, permitindo a instalação de plantas como a jibóia, mas não atingiram a resistência mínima exigida para uso estrutural. Como destaque estético, foi verificada a possibilidade de uso de pigmentos como o pó xadrez para personalização sem comprometer a integridade dos blocos. Agradece-se o apoio de estudantes, orientadores e colaboradores envolvidos na execução do projeto. Para trabalhos futuros, recomenda-se testar proporções com maior teor de cimento (como 1:4), melhorar o processo de moldagem e cura, investigar o uso de diferentes tipos de solo e impermeabilização, além de realizar testes de desempenho térmico em paredes verdes, ampliando a aplicação dos tijolos ecológicos em soluções sustentáveis e não estruturais.

5 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10834: *Tijolo ecológico de solo-cimento* – Requisitos. Rio de Janeiro. p. —. 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10835: *Tijolo ecológico de solo-cimento* – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. p. —. 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181: *Solo* - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro. p.12. 2016.

Kibert, Charles J. *Sustainable construction*: green building design and delivery. 4. ed. [S.l.]: Wiley, 2016. Disponível em: https://download.e-bookshelf.de/download/0007/6913/92/L-G-0007691392-0013787786.pdf. Acesso em: 3 set. 2025.

Lotfi, Y. *Optimizing energy efficiency and thermal comfort of green roofs and green walls*: ecological strategy for the building envelope. SN Applied Sciences, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-024-05698-4. Acesso em: 4 set. 2025.

Pereira Júnior, A.; Rodrigues, A. B. M.; Conceição, M. M. M.; Pereira, L. C. Paredes verdes, urbanização, vegetação e as tendências de variações da temperatura, umidade do ar e ventos. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 28, p. 1517–1530, 2018. DOI: 10.18677/EnciBio_2018B124.

SEBRAE. *Quais as vantagens de utilizar tijolos ecológicos em seu negócio*. Atualizado em 11 jan. 2023. Disponível em: https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/quais-as-vantagens-de-utilizar-tijolos-ecologicos-em-seu-negocio%2C161ba0f8181a5810VgnVCM1000001b00320aRCRD. Acesso em: 4 set. 2025.

United Nations Environment Programme (UNEP). *Global Status Report for Buildings and Construction*. Nairobi, 2020. [URL exata a confirmar; no seu texto a citação é 2020]

Vitaliano, S. Mitigating Built Environment Air Pollution by Green Systems. *Applied Sciences*, v. 14, n. 15, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2076-3417/14/15/6487. Acesso em: 5 set. 2025.

World Economic Forum. *Cities are using nature to cut urban temperatures by 2 °C in one case*. 2 jan. 2024. Disponível em: https://www.weforum.org/stories/2024/01/nature-positive-cities-tackle-extreme-heat/. Acesso em: 4 set. 2025.