

TIJOLOS ECOLÓGICOS:

Análise da resistência à compressão de tijolos ecológicos reforçados com fibras vegetais - Estudo de caso na empresa REM TIJOLO ECO, em Macapá-AP.

Estefani Karen Silva dos Santos¹Leticia Maduro Pereira²Khalil de Almeida Alves³Jonathan Castro Amanajás⁴Ederaldo da Silva Azevedo⁵

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar o uso de tijolos ecológicos, com adição de fibra de açaí e fibra de sisal, a fim de avaliar seu desempenho na construção civil. O tijolo ecológico oferece diversas vantagens em relação ao tijolo convencional, tanto do ponto de vista ambiental quanto no que diz respeito ao desempenho econômico, incluindo a sustentabilidade, redução de entulhos e resíduos, eficiência energética, durabilidade, resistência e viabilidade econômica. Com base no exposto, foi analisada a viabilidade de utilização desse material não apenas para alvenaria de vedação, mas também para alvenaria estrutural. Tal iniciativa busca promover impactos positivos no meio ambiente, além de contribuir para a quebra de paradigmas que defendem a superioridade dos métodos convencionais em relação às alternativas ecologicamente corretas. Com base nos resultados apresentados nesta pesquisa, conclui-se que os tijolos ecológicos analisados não atendem aos requisitos normativos para aplicações estruturais. No entanto, os corpos de prova demonstraram uma média de resistência nas propriedades que não os qualificam como blocos de vedação de acordo com a NBR 8491:2012, o que os torna desvantajosos para essa finalidade.

Palavras-Chave: Construção Civil, Tijolo ecológico, Sustentabilidade.

ECOLOGICAL BRICK: A sustainable alternative in civil construction.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the use of ecological bricks, with the addition of açai fiber and sisal fiber, in order to evaluate their performance in civil construction. The ecological brick offers several advantages over the conventional brick, both from an environmental point of view and in terms of physical and economic performance, including sustainability, reduction of debris and waste, energy efficiency, durability, resistance and economic viability. Based on the above, the feasibility of using this material not only for sealing masonry, but also for structural masonry was analyzed. This initiative seeks to promote positive impacts on the environment, in addition to contributing to the breaking of paradigms that defend the superiority of conventional methods over environmentally friendly alternatives. However the test specimens demonstrated an average resistance in properties that do not qualify them as sealing blocks according to NBR 8491:2012, which makes them disadvantageous for purpose.

Keywords: Civil Construction, Ecological Brick, Sustainability.

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP. E-mail: estefani-karen10@hotmail.com

² Acadêmica do curso de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP. E-mail: leticiamaduro155@gmail.com

³ Acadêmico do curso de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP. E-mail: khalil.alves@gmail.com

⁴ Professor do curso de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP. E-mail: jonathan.amanajas@ceap.br. Doutor em Meteorologia. Orientador.

⁵ Professor do curso de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP. E-mail: ederaldoazevedo@yahoo.com.br. Co-Orientador.

1 INTRODUÇÃO

A economia mundial é significativamente influenciada pela indústria da construção, que tem experimentado um crescimento exponencial ao longo do tempo. No entanto, este crescimento suscita preocupações quanto ao seu impacto no ambiente, nomeadamente devido ao elevado consumo de matérias-primas naturais.

Segundo John (2004) a construção civil utiliza aproximadamente 20 a 50% do total de recursos naturais da sociedade. Na verdade, a indústria da construção é atualmente a maior consumidora de recursos naturais. A construção civil não só esgota os recursos naturais através da extração, mas também gera a maior quantidade de resíduos da sociedade. Conforme afirma John (2004), o volume de entulhos de construção e demolição produzidos pela construção civil pode ser duas vezes maior que o dos resíduos sólidos urbanos.

Dadas estas circunstâncias, torna-se imperativa a adoção de abordagens e tecnologias inovadoras e amigas do ambiente no domínio da Construção Civil. Isto não só reduzirá a pegada ambiental, mas também enfrentará os desafios decorrentes da extração não regulamentada de recursos e da emissão de gases nocivos durante o fabrico de materiais de construção. Além disso, é essencial satisfazer as necessidades de infraestruturas da população, estabelecendo um equilíbrio entre acessibilidade e qualidade (John, 2004).

A indústria da construção civil é uma das maiores responsáveis pelo consumo de recursos naturais e pela geração de resíduos, contribuindo substancialmente para os impactos ambientais globais. O uso convencional de tijolos cerâmicos e de concreto exige a extração de matérias-primas e consome grandes quantidades de energia, resultando em altas emissões de CO².

Diante da crescente preocupação com a sustentabilidade, os tijolos ecológicos surgem como uma alternativa promissora, oferecendo diversos benefícios ambientais. Contudo, apesar de suas vantagens, existem desafios a serem superados para garantir sua ampla adoção no setor. A questão central que guia a pesquisa é: até que ponto os tijolos ecológicos da empresa “REM TIJOLO ECO” atendem os requisitos normativos para aplicações estruturais e são economicamente viáveis em comparação com os tijolos tradicionais, considerando não apenas os custos de produção, mas também os benefícios ambientais a longo prazo?

Foi considerada a hipótese de incorporar fibras de açaí e sisal ao tijolo ecológico, que é composto por solo, cimento e água, com o objetivo de avaliar sua resistência à compressão e à tração. O intuito dessa adição é assegurar benefícios tanto econômicos quanto ambientais.

A utilização de tijolos de solo-cimento oferece a oportunidade de agilizar o processo construtivo, minimizando a produção de resíduos. Isto é conseguido através do desenho interligado dos tijolos, o que elimina a necessidade de excesso de argamassa e torna desnecessária a argamassa de revestimento. Como resultado, os custos são reduzidos e a eficiência do trabalho é melhorada (Santiago; Souza; Silva,

2012).

De acordo com estes autores extensas pesquisas realizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento demonstraram que a construção em solo-cimento não só proporciona excelente isolamento térmico e acústico, mas também reduz custos em 20% a 40% em comparação com a argila tradicional ou alvenaria de tijolo cerâmico. Consequentemente, estas conclusões destacam a harmonização de elementos essenciais na construção civil: relação custo-eficácia, qualidade, oportunidade e sustentabilidade.

Essa pesquisa tem como objetivo geral investigar o papel e a viabilidade do tijolo ecológico como uma alternativa sustentável na construção civil, analisando seus benefícios ambientais, econômicos e sociais. Os objetivos específicos buscados foram: i) contextualizar acerca da utilização de tijolos ecológicos na construção civil; ii) apresentar a metodologia da pesquisa; iii) evidenciar o processo de fabricação e a análise de compressão de tijolos ecológicos da empresa REM TIJOLO ECO.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS TIJOLOS ECOLÓGICOS

Segundo Pinheiro (2003), solo-cimento é uma mistura de solo, cimento e água em diferentes proporções. Esta combinação produz uma substância que possui notável resistência à compressão, excepcional impermeabilidade, encolhimento mínimo e notável longevidade. Vale ressaltar que Pinheiro (2003) afirma que solos contendo aproximadamente 45% a 50% de areia são os mais adequados para essa mistura, embora qualquer tipo de solo, exceto aqueles predominantemente compostos por matéria orgânica, possa ser utilizado. Com um planejamento adequado, o uso de tijolos ecológicos pode economizar de 30% a 50% no valor final de um projeto. Ao aplicar o material diretamente, consegue-se uma economia de 18% (Silva, 2015)

A construção civil gera impactos e perdas ambientais, portanto, o objetivo é reduzir as agressões e buscar soluções alternativas através de materiais e tecnologias inovadoras que proporcionem novas perspectivas sobre as consequências. Lembre-se que os recursos naturais são limitados, daí a importância e a necessidade de implementar novas opções de materiais sem comprometer o custo final, a qualidade, a durabilidade, a segurança e a sustentabilidade do trabalho.

Vale ressaltar que, como afirma Pisani (2005), não existe arquitetura que não tenha impacto, por isso precisamos buscar intervenções que tenham impacto em menor escala. Estas intervenções incluem os eco-tijolos, que, ao contrário dos tijolos tradicionais, não requerem a queima de madeira e combustível durante o processo de fabricação, evitando assim o abate de árvores e a emissão de monóxido de carbono nocivo para a atmosfera.

Os elementos que compõem os eco-tijolos são basicamente solos, água e cimento. Sua forma, modelo, tamanho ou peso variam de acordo com o projeto elaborado

pela construtora, levando em consideração todos os parâmetros que orientam a construção: localização, estética, escopo da obra, outros materiais, mão de obra (Motta et. al, 2014).

A tendência crescente do mercado de produção de tijolos ecológicos é uma realidade, e a procura por produtos por parte das construtoras, principalmente daquelas que dão mais atenção à inovação, também é uma realidade. Esta tecnologia representa um grande avanço para a construção civil, pois os ecotijolos representam uma alternativa potencial devido à sua composição básica e propriedades de eficiência: não necessita de combustão, reduz o desmatamento e o consumo de energia e proporciona bom conforto térmico e acústico. Suas propriedades isolantes (Pisani, 2005).

Os tijolos ecológicos, assim como quaisquer materiais utilizados na construção civil, são essenciais para estudar e confirmar a sua viabilidade técnica, sempre atendendo às normas legais da construção civil, visando sempre a segurança do trabalho desde a fundação até a conclusão. Portanto, é necessário verificar se o produto atende aos requisitos básicos especificados no ensaio de resistência e absorção de água dos ecotijolos, de acordo com o disposto na norma NBR 8492 (ABNT, 2012): Tijolos cimento-solo, análise dimensional, determinação da resistência à compressão e absorção de água – métodos de ensaio e NBR 8491 (ABNT, 2012): Telhas solo cimentícias, conforme visto em (Motta et. al, 2014).

2.2 PROJETOS CORRELATOS

A construção da casa com tijolos modulares apresenta características de projeto que, de acordo com as exigências do método construtivo, para a execução da obra foi necessária a criação de quatro plantas adicionais, que juntas formam o projeto de modulação, contendo o plano de modulação, rejuntamentos e aberturas, independência das paredes e plantas balsâmicas (Franco, 1992).

O plano de modulação é um projeto em que cada tijolo da primeira fileira tem uma localização precisa, orientando os colaboradores na construção da parede. O plano de argamassa e o plano de aberturas mostram a localização das barras de ferro a serem acrescentadas em pontos específicos e completarão os trabalhos nos pilares e vigas. Também orienta o posicionamento de portas e janelas com base na modulação. As paredes são projetadas de forma independente para garantir os padrões estéticos dos tijolos aparentes. e o esquema baldrame, em que o feixe baldrame respeita a medida imposta pela modulação. Portanto, a partir da definição das primeiras características de um projeto de construção, os engenheiros devem trabalhar em uma grade modular (Franco, 1992).

O estudo Sousa e Barbosa (2017) realizou trabalho de campo em uma fábrica de tijolos ecológicos e em duas casas em construção (Fábrica, Casa 1 e Casa 2) entre junho de 2016 e março de 2017. A fábrica está localizada em Mineiros-GO, onde é possível acompanhar o processo produtivo dos tijolos ecológicos (Imagem 2) a seguir.

Imagem 2: Fábrica de tijolos ecológicos



Fonte: Souza; Barbosa, 2017.

Com uma produção média de 1.000 tijolos por dia, pode atingir uma capacidade de produção de 1.300 tijolos por dia. Os tipos de tijolos produzidos caracterizam-se por tijolos ecológicos, tijolos de cimento-solo ou tijolos modulares, constituídos por terra, uma pequena quantidade de cimento e água. Os tijolos produzidos têm dimensões de 6,5x12,5x25 cm (Sousa; Barbosa, 2017).

A residência 1 está localizada em Mineiros-GO.

A casa possui área construída de 115 m² e é construída em tijolos ecológicos contém dois quartos, sendo uma suíte com guarda-roupa, sala, hall, cozinha, circulação, banheiro social, garagem, área de armazenamento para lazer e churrasqueira, e área de serviço. O exterior é em tijolo aparente, internamente todas as paredes são em estuque, revestidas com telhas, forro emoldurado em estuque, e a cobertura é em telhas de concreto (Imagem 3) a seguir.

Imagem 3: Residência 1



Fonte: Souza; Barbosa, 2017

A Casa 2 está localizada em Mineiros-GO, a casa tem área construída de 49 m² e é feita de tijolos ecológicos e contém dormitórios, suítes, salas, cozinhas, circulação, banheiro social, tijolos aparentes na parte externa e interna e pisos cerâmicos no interior, forro em PVC e cobertura em telha de concreto.

Imagem 4: Residência 2

A utilização de tijolos modulares, também chamados de tijolos ecológicos, na construção civil exige um planejamento minucioso e minucioso devido às suas características únicas (Imagem 4 – Residência 2).



Fonte: Sousa; Barbosa, 2017

Para atender às exigências deste método construtivo, foi imprescindível o desenvolvimento de quatro planos adicionais, conhecidos coletivamente como projeto de modulação. Este projeto abrangente engloba o plano de modulação, rejuntamentos e aberturas, independência de paredes e plantas balsâmicas.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

O propósito desse artigo consistiu em investigar o papel e a viabilidade do tijolo ecológico como uma alternativa sustentável na construção civil. A pesquisa tem caráter experimental e quantitativo, com a finalidade de comparar a resistência à compressão de tijolos tradicionais e tijolos ecológicos de solo-cimento com adição de fibras. O estudo segue normas técnicas para a confecção e ensaio dos materiais.

O cenário da pesquisa foi feito na empresa REM TIJOLO ECO com auxílio da CEO Mônica Rabêlo, que se destaca pela produção artesanal e é a única no estado do Amapá a comercializar seus produtos. Localizada no loteamento Terra Nova Bosque em Macapá, Amapá.

3.2 MATERIAIS

Abaixo estão listados os materiais empregados na fabricação dos corpos de prova.

a) Solo Argissolo Vermelho

Solo deve ter uma granulometria adequada para fabricação de tijolos ecológicos. O Solo Argissolo Vermelho, solo característico de regiões tropicais úmidas como o Amapá, foi selecionado para este estudo devido à sua ampla disponibilidade local e propriedades favoráveis à produção de tijolos ecológicos. Sua textura arenosa a média e composição rica em óxidos de ferro permitem boa compactação e coesão, características essenciais para a moldagem e resistência dos artefatos. O uso desse solo reflete uma abordagem sustentável, aproveitando recursos regionais e reduzindo a necessidade de transporte de materiais (Figura 1).

Figura 1: (a) Solo Argissolo Vermelho; (b) Solo Peneirado



(a) Solo argissolo vermelho

Fonte: Os Autores



(b) Solo peneirado

b) Cimento

Utilizado como agente aglutinante, o cimento da marca Poty (Cimento POTY obras especiais), é responsável por promover a coesão entre as partículas do solo, aumentando a resistência mecânica dos tijolos após o processo de cura. No estudo, foi utilizado o cimento tipo CP II, atendendo às normas brasileiras para a fabricação de artefatos de solo-cimento.

c) Água

A água desempenha papel fundamental na hidratação do cimento e na homogeneização da mistura. Foi utilizada água potável, isenta de impurezas e substâncias químicas que pudessem comprometer as propriedades do material (Figura 2).

Figura 2 - Água



Fonte: Os Autores

d) Fibras vegetais

O sisal é uma fibra natural obtida das folhas da planta *Agave sisalana*, amplamente reconhecida por sua resistência e durabilidade. No presente estudo, suas fibras foram adicionadas à mistura dos tijolos ecológicos como reforço estrutural, com o objetivo de aumentar a resistência à tração e prolongar a vida útil dos materiais (Figura 3).

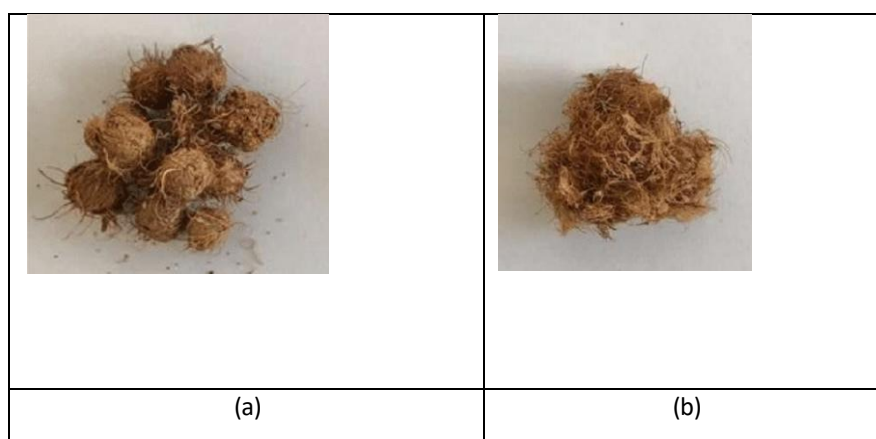
Além disso, o sisal é um recurso sustentável, renovável e biodegradável, alinhando-se às diretrizes de construção sustentável. Sua aplicação nos tijolos ecológicos também representa uma inovação que busca adaptar e aprimorar tecnologias construtivas para atender às especificidades do bioma amazônico, unindo eficiência e respeito ambiental.

Figura 3: (a) planta *Agave sisalana*; (b) fibra de sisal triturada

Fonte: imagem da Internet

A fibra de açaí, proveniente do processamento do fruto da palmeira *Euterpe oleracea*, é um subproduto natural amplamente disponível na região amazônica. Neste estudo, as fibras foram trituradas e incorporadas à mistura dos tijolos ecológicos como aditivo, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas, como a resistência à tração, e aumentar a durabilidade do material. Além de agregar valor a

um resíduo agrícola, o uso dessa fibra reforça o compromisso com a sustentabilidade, promovendo o aproveitamento de recursos renováveis e locais. Essa aplicação também destaca a integração de soluções construtivas que respeitam e se adaptam às condições do bioma amazônico, aliando inovação e responsabilidade ambiental (Figura 4).

Figura 4: (a) caroço do açaí; (b) fibra do caroço de açaí triturada

Fonte: imagem da Internet

3.3 MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS

A fabricação de tijolos ecológicos é um processo sustentável que utiliza uma mistura de solo, cimento e água, podendo incluir fibras para reforço. Esse processo oferece uma alternativa ecológica à construção tradicional, aproveitando materiais locais e reduzindo desperdícios, contribuindo para a sustentabilidade da construção civil. Os tijolos ecológicos foram fabricados em dois grupos distintos: um incorporando fibras de sisal e outro, fibras de açaí. O processo seguiu as etapas descritas abaixo:

3.3.1 Preparação da mistura

A produção da mistura, foi de forma manual através de ferramentas comumente utilizadas por profissionais da construção civil. Foi utilizado o traço de 5:1, ou seja, cinco partes de solo para uma parte de cimento, para cada meio traço (37,5 kg de solo e 7,5 kg de cimento), foram incorporadas. Tijolos com fibra de açaí: 55 g de fibra triturada de açaí, com 5 g adicionais para compensar sua menor densidade em relação ao sisal. Tijolos com fibra de sisal: 50 g de fibra natural de sisal triturado (aproximadamente 10 mm de comprimento).

3.3.2 Preparação do solo

A preparação do solo para a fabricação de tijolos ecológicos é essencial para garantir a qualidade e a resistência do produto final. O processo começa com a seleção de solo adequado, preferencialmente argiloso ou arenoso, que deve ser isento de impurezas como matéria orgânica e pedras grandes.

Após a seleção, o solo é homogeneizado para garantir uma distribuição uniforme de partículas. A quantidade de água adicionada na mistura do traço depende da taxa de umidade já presente no solo, em seguida, moê-lo ou peneirá-lo para remover aglomerados. Uma análise de propriedades do solo, como granulometria e umidade, é recomendada para ajustar a proporção de cimento e água na mistura.

Por fim, o solo preparado é misturado com cimento e água em proporções específicas para garantir a coesão e a resistência do tijolo, promovendo a durabilidade necessária para sua aplicação na construção civil. O solo Argissolo Vermelho foi previamente peneirado em uma malha de 4,8 mm para remover partículas maiores e garantir uma mistura homogênea (Figura 5).

Figura 5: Solo argissolo sendo peneirado

Fonte: Os Autores

3.3.3 Mistura manual

Na fabricação manual de tijolos ecológicos, a mistura dos materiais é feita de forma cuidadosa para garantir a homogeneidade e a consistência da massa. Primeiro, o solo e o cimento são misturados secos em uma proporção específica, a usada foi de 5:1, de acordo com as características do solo e as exigências técnicas (Fig. 6). Após essa mistura seca, a água é adicionada gradualmente até alcançar uma umidade ideal, que permite a compactação e a moldagem dos tijolos sem que a mistura fique muito seca ou excessivamente úmida. Para garantir uma mistura homogênea, é importante mexer bem com uma pá ou uma enxada, de forma a distribuir uniformemente o cimento e o solo.

A adição de fibras é feita após a mistura inicial do solo e cimento, e deve ser realizada de maneira cuidadosa para garantir que as fibras sejam distribuídas uniformemente pela

massa. As fibras, que podem ser de origem natural, como sisal ou coco, ou sintéticas, como polipropileno, são misturadas manualmente, espalhando-as pela superfície da massa e misturando-as com movimentos contínuos até que a distribuição seja homogênea. Essa etapa é essencial para garantir que todas as partes do tijolo tenham as propriedades de resistência e reforço proporcionadas pelas fibras.

A mistura manual requer atenção e esforço, pois a incorporação das fibras deve ser feita de forma a evitar aglomerações e garantir que o reforço seja uniforme em toda a massa. O solo peneirado foi homogeneizado manualmente com o cimento, e, em seguida, as fibras de açai ou sisal foram incorporadas à mistura seca (figura 6). Por fim, a água foi adicionada gradualmente, na proporção de 2,5 litros por traço.

Figura 6: (a); solo homogeneizado com o cimento (b); incorporação da fibra (c) hidratação

(a)



(b)



(c)

Fonte: Os Autores

3.4 PRODUÇÃO DOS TIJOLOS ECOLÓGICOS

A mistura para a produção dos tijolos ecológicos foi compactada utilizando a Prensa hidráulica. A prensa hidráulica é um equipamento fundamental na fabricação de tijolos ecológicos de solo-cimento, desempenhando um papel crucial na obtenção de tijolos com resistência e durabilidade adequadas. Segundo a ABNT NBR 10834, a fabricação do tijolo de solo-cimento deve seguir critérios específicos para garantir a qualidade do material (Figura 7).

As prensas hidráulicas funcionam aplicando uma força controlada e uniforme sobre a mistura de solo e cimento, eliminando vazios e promovendo a coesão entre as partículas. Essa força é gerada por um cilindro hidráulico, que utiliza um fluido pressurizado para acionar um êmbolo que compacta a mistura dentro de uma forma ou matriz. As prensas podem ser manuais, semiautomáticas ou automáticas.

Modelos automáticos são mais indicados para

produção em larga escala, proporcionando maior precisão e eficiência, enquanto as manuais são ideais para produções menores e mais acessíveis. Além disso, a prensa hidráulica contribui para uma maior produtividade e redução de desperdícios, pois permite uma produção mais uniforme e repetitiva.

O processo de prensagem, associado à cura adequada, ajuda a atender às exigências da ABNT NBR 8491 que exige que a amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 8492, não pode apresentar a média dos valores de resistência a compressão menor que 2,0 Mpa (20 kgf/cm²) nem valor inferior a 1,7 Mpa (17 kgf/cm²), com idade mínima de sete dias. Com isso, as prensas hidráulicas garantem que os tijolos ecológicos produzidos atendam às normas de resistência e qualidade exigidas para sua aplicação na construção civil.

Após a preparação de duas misturas com meio traço cada uma, contendo diferentes tipos de fibra, foram produzidos 19 tijolos. Esse método de fabricação garantiu a produção de tijolos consistentes e com as propriedades mecânicas e sustentáveis esperadas para o estudo.

Figura 7: (a) compactação da mistura; (b) tijolo modular pronto



(a)



(b)

Fonte: Os Autores

Os tijolos ecológicos foram submetidos à cura úmida por 7 dias e, posteriormente, mantidos em ambiente seco até completar 14 dias de idade, conforme normas da ABNT NBR 8491. A cura natural dos tijolos ecológicos é um processo simples e amplamente utilizado, realizado ao ar livre em locais sombreados.

Nesse método, os tijolos são regularmente molhados com água para manter o teor de umidade necessário para a hidratação do cimento. Esse procedimento é fundamental para evitar a secagem rápida e desigual, que pode resultar em fissuras e comprometimento da resistência mecânica. Embora menos eficiente do que a cura controlada, a cura natural é uma solução prática e acessível para assegurar a qualidade dos tijolos ecológicos.

4 ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS ECOLÓGICOS

4.1 PREPARAÇÃO E TESTE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS

TIJOLOS ECOLÓGICOS

A avaliação da resistência à compressão dos tijolos ecológicos é um processo essencial para garantir sua adequação em projetos de construção, particularmente em alvenaria estrutural. Para assegurar que os tijolos ecológicos atendam aos padrões de qualidade exigidos, as normas da ABNT, como a NBR 8491:2012, NBR 10834:2018 e NBR 8492:2012, fornecem diretrizes específicas para a preparação e realização dos testes de resistência.

A seguir, detalham-se as etapas desse processo, destacando as exigências e os requisitos que devem ser atendidos da NBR 8492:2012.

- Cortar o tijolo ao meio, perpendicularmente à sua maior dimensão;
- Sobrepor, por suas faces maiores, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas de acordo com a Figura 1, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland pré-contraída (repouso de aproximadamente 30 min), com 2

mm a 3 mm de espessura, e aguardar o endurecimento da pasta. A resistência da pasta de cimento não pode ser menor que a do tijolo em ensaio:

- Quando o tijolo apresentar rebaixo, superpor suas duas metades de modo que as reentrâncias fiquem localizadas nas faces de trabalho do corpo de prova e encher as reentrâncias com pasta de cimento, aguardando aproximadamente 12 h antes de proceder à etapa seguinte.

4.2 EXIGÊNCIAS PARA A PREPARAÇÃO DOS TIJOLOS

4.2.1 Dimensões e Características Físicas:

Os tijolos ecológicos devem ter dimensões precisas e superfícies planas, de modo a permitir a aplicação uniforme da carga durante os testes. Conforme especificado na NBR 8491:2012, que aborda os requisitos para blocos de terra comprimida, devem possuir a forma externa de um paralelepípedo retangular, sendo suas dimensões nominais podendo variar, mas devem sempre ter a altura menor que sua largura. As superfícies devem estar livres de defeitos visíveis, como rachaduras, que possam comprometer a uniformidade do teste.

4.2.2 Superfície de Contato:

Antes de iniciar o teste de compressão, é fundamental garantir que as superfícies de contato dos tijolos estejam preparadas para uma distribuição uniforme da carga. Em algumas situações, pode ser necessário aplicar uma camada fina de argamassa ou gesso para nivelar as superfícies e evitar desalinhamentos durante o teste. Essa etapa é crucial para assegurar que a carga seja aplicada de forma equitativa, seguindo as diretrizes da NBR 8492:2012, que descreve os procedimentos de teste de resistência à compressão de blocos cerâmicos e de concreto.

4.3 PROCEDIMENTO DE TESTE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

4.3.1 Equipamento de Ensaio:

O teste de resistência à compressão deve ser realizado em uma máquina de ensaio universal, que deve estar em conformidade com as exigências da NBR 8492:2012 de ser equipada com dois pratos de apoio, de aço, sendo um deles articulado, que atuem na face superior do corpo de prova. A máquina deve ser calibrada e ter precisão suficiente para aplicar a carga de forma controlada e constante, com uma taxa de aplicação da carga, geralmente, entre 0,5 MPa/s e 1 MPa/s. Essa precisão é importante para garantir que os resultados

sejam representativos e confiáveis.

4.3.2 Posicionamento dos Tijolos:

O posicionamento correto dos tijolos na máquina de ensaio é essencial para que a carga seja aplicada perpendicularmente à superfície de teste. O alinhamento adequado é um fator crítico para a precisão dos resultados e para evitar deformações que possam alterar a avaliação da resistência à compressão.

4.3.3 Aplicação da Carga:

Durante o teste, a carga deve ser aplicada de forma progressiva até que ocorra o rompimento do tijolo. A máquina de ensaio deve ser equipada com um sistema de registro automático para capturar a carga máxima aplicada e observar o comportamento do tijolo até o ponto de falha. Essa etapa é importante para analisar a integridade estrutural do tijolo e identificar sinais de fissuração ou desintegração.

4.3.4 Registro e Análise dos Resultados:

Após a realização do teste, a carga máxima registrada é usada para calcular a resistência à compressão, expressa em MPa. Para uma avaliação precisa, é recomendável realizar múltiplos testes em amostras do mesmo lote e calcular a média da resistência.

4.3.5 Exigências e Requisitos Normativos

Os tijolos destinados a uso estrutural devem ter a resistência a compressão individual considerada a partir de 3,0 MPa, conforme a NBR 15270-2:2005. Esse requisito é essencial para garantir que os tijolos possam suportar as cargas estruturais e manter a estabilidade da construção. Já a resistência característica de um lote de blocos estruturais deve ser de no mínimo 4 MPa.

Os resultados dos testes devem ser registrados de forma detalhada, analisados e comparados com os padrões de resistência especificados para garantir que os tijolos ecológicos atendam aos requisitos normativos e sejam seguros para a construção civil.

4.4 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Foram realizados testes de compressão (figura 8), com a finalidade de avaliar a resistência ao impacto, tendo como referência a NBR 8492:2012 (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Figura 8: Teste de compressão realizado nos tijolos ecológicos

Fonte: Os autores

Os resultados dos testes obtidos estão representados de acordo com a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1- Resultados dos testes de compressão – Fibras vegetais

Composição	Massa (g)	Tm (mm)			Diâmetro furo (mm)	Área dos furos (mm ²)	Área bruta do tijolo (mm ²)	Área Líquida do tijolo (mm ²)	Carga Máxima aplicada (N)	Resistência a Compressão (Fc)
		Altura	Largura	Comprimento						
Sisal	2744 ± 53	69,86 ± 1	125,2 ± 0	249,7 ± 0	63,6 ± 1	6368,03 ± 185	3.1287,3 ± 25	2.4919,3 ± 166	3.9684,2 ± 13.238	1,59 ± 0,52
Açaí	2672 ± 93	73,1 ± 1	124,7 ± 0	248,7 ± 1	60,7 ± 1	5788,0 ± 125	31.025,47 ± 163	2.5237,4 ± 267	2.6477,9 ± 9.062	1,04 ± 0

Fonte: Os autores

Observa-se que os corpos de prova contendo adição de fibra de sisal apresentaram valores de resistência superiores em comparação com aqueles que utilizaram fibra de açaí. Esse resultado pode ser atribuído a diversos fatores, como a relação água/cimento, o tipo de cimento utilizado, o tempo de cura e as condições de mistura, entre outros.

Ainda assim, de acordo com a NBR 15270-2:2020 (Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Parte 2: Métodos de ensaio), os corpos de prova não podem ser considerados adequados para aplicações como tijolos estruturais servindo apenas como de vedação, conforme identificado na média da tabela 1 com o desvio padrão de 0,52 entre os dados obtidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados apresentados nesta pesquisa, conclui-se que os tijolos ecológicos analisados não atendem aos requisitos normativos para aplicações estruturais. No entanto, os corpos de prova demonstraram uma média de resistência nas propriedades que não os qualificam como blocos de vedação de acordo com a NBR 8491:2012, o que os torna desvantajosos para essa finalidade.

Porém, a incorporação de fibra de sisal na sua composição contribuiu para a sua elevada melhora em comparação com a fibra de açaí para a resistência a compressão, ao promover o reaproveitamento de resíduos naturais, mas também representa uma inovação tecnológica. Essa abordagem busca adaptar e aprimorar métodos construtivos, considerando as especificidades do bioma amazônico, e aliando eficiência à preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10834:2018. **Blocos e tijolos de solo-cimento – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2018.

ABNT NBR 15270-2. **Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos.** 2005.

ABNT NBR 15270-1. **Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos.** 2005.

ABNT NBR 8491. **Blocos e tijolos de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão.** 2012.

ABNT NBR 8492. **Blocos e tijolos de solo-cimento – Determinação da absorção de água e da densidade.** 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO. **O tijolo ecológico.** 2015.

BARBOSA, Dannilo; DIAS, Fabrício. **Tijolo ecológico: utilização de lama ferruginosa presente no rio doce como matéria prima.** 2017. Disponível em: https://www.confec.org.br/media/contecc2017/civil/96_teuclidf_pnrdrm.pdf. Acesso em: 25 ago. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos;** altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da

União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2024.

CAMARGO, Suzana. **Tijolo feito com plástico reciclado torna construção mais sustentável.** 2017. Disponível em: <https://conexaoplaneta.com.br/blog/tijolo-feito-com-plastico-reciclado-torna-construcao-mais-sustentavel/> Acesso em: 10 set. 2024.

COPARI, Vinícius Pereira. OLIVEIRA, Muriel Batista de. **Confecção de tijolos ecológicos como alternativa para reutilização dos resíduos gerados por centrais dosadoras de concreto.** 2016. Revista Interdisciplinar Pensamento Científico, 2(1). Recuperado de <https://reinpec.cc/index.php/reinpec/article/view/105>. Acesso em 10 set. 2024

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** 1992. 319f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

JOHN, V. M. **RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo: University of São Paulo, 2004.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Materiais de Construção e o Meio Ambiente.** Versão editada de capítulo a ser publicado no livro: V. M. John Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais G Isaia, editor. IBRACON 2017.

JUNIOR, Ivan Francklin; AMARAL, Tatiana Gondin do. **Inovação tecnológica e modernização na indústria da construção civil.** Ciência et Praxis v. 1, n. 2, (2008). Disponível em: [file:///Downloads/praxys,+Journal+manager,+Artigo+-+Ivan+\(Final\).pdf](file:///Downloads/praxys,+Journal+manager,+Artigo+-+Ivan+(Final).pdf). Acesso em 09 ago 2024

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; MORAIS, Paola Waleska Pereira; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa; GONÇALVES, Gabrielle Cristina, CHAGAS, Marcela Aleixo; MAGESTE, Jalson Luiz; LUCAS, Taiza de Pinho Barros . **Tijolo de Solo-cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Belo Horizonte: E-xata, 2014. 13-26 p. 2014 Disponível em: < <http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1038/665> > Acesso em: 09 set. 2024.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Um material de construção de baixo impacto ambiental. O tijolo de solo-cimento.** São Paulo: Sinergia, 2005. p. 53-59

STEPHANOU, João. **Gestão de resíduos sólidos: um modelo integrado que gera benefícios econômicos, sociais e ambientais.** 2013. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/sustentabilidade/?p=235>. Acesso em: 09 ago. 2024.

SANTIAGO, Natália de Oliveira; SOUZA, Marcelo Douglas de.; SILVA, Luciene Maria Machado da. **Estudo do fator água/cimento para a confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais.** Anais I ENECT / UEPB... Campina Grande: Realize Editora, 2012. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/1719>>. Acesso em: 02/06/2024

SILVA, Fabio Henrique Rodrigues Ferreira e. **USO DO TIJOLO ECOLÓGICO PARA TRAZER ECOMONIA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.** 2015. Disponível em: < http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos_up/documentos/Odd59fa639e938e9f919a7_6210b3d3fc.pdf>. Acesso em 25 de nov. 2024

SOUZA, L. M. P.; BARBOSA, U. R. **TIJOLO ECOLÓGICO: PRODUÇÃO, CARACTERÍSTICAS DE PROJETO E RENDIMENTO DE MÃO DE OBRA NA CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS DE DIFERENTES PADROES.** II Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar. 29, 30 e 31 de maio de 2017 Centro Universitário de Mineiros – Unifimes. Disponível em: <https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/article/view/265>. Acesso em 25 nov. 2024.