

Arquitetura Humanitária como Estratégia Sustentável: Aplicação e Desempenho de Materiais Naturais em Processos Construtivos

Humanitarian Architecture as a Sustainable Strategy: Application and Performance of Natural Materials in Construction Processes

Josué Marcos Savi Mundo de Abreu, Graduando, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC,

summerjosubusiness@gmail.com

Susana Claudete Costa, Doutoranda, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC,

susanacostacl@gmail.com

Rachel Faverzani Magnago, Doutora, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC,

rachelfaverzanimagnago@gmail.com

Lisiane Ilha Librelotto, Doutora, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC,

lisianelibrelotto@gmail.com

Paulo Cesar Machado Ferroli, Doutor, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC,

pcferroli@gmail.com

Número da sessão temática da submissão – []

Resumo

Este estudo investiga a Arquitetura Humanitária como estratégia sustentável, analisando a aplicação e o desempenho de materiais naturais em processos construtivos voltados a contextos emergenciais. O objetivo foi avaliar a incorporação de bioinsumos capazes de otimizar as propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova produzidos com solo, destinados à construção de abrigos temporários em situações de desastres socioambientais. A metodologia baseou-se em experimentação com materiais locais, especialmente solo e serragem de bambu, incluindo a caracterização do solo, o desenvolvimento de diferentes traços e a realização de ensaios de densidade e resistência mecânica à compressão no estado seco. Paralelamente, foram conduzidos testes com distintas configurações de bicos de extrusão, visando aprimorar a estabilidade do processo de impressão 3D e a qualidade geométrica dos elementos produzidos. Os resultados indicaram que a adição de serragem de bambu potencializa o desempenho mecânico dos blocos, atuando como micro-reforço fibroso, promovendo maior coesão interna e controle da propagação de microfissuras. A definição de uma configuração de bico mais eficiente resultou em extrusão estável e maior uniformidade das camadas. Conclui-se que o uso de materiais naturais locais, aliado à

fabricação digital, apresenta elevado potencial para o desenvolvimento de soluções construtivas sustentáveis, acessíveis e adaptáveis à Arquitetura Humanitária.

Palavras-chave: Arquitetura humanitária; Sustentabilidade; Materiais naturais; Construção com solo; Impressão 3D.

Abstract

This study investigates Humanitarian Architecture as a sustainable strategy, analyzing the application and performance of natural materials in construction processes aimed at emergency contexts. The objective was to evaluate the incorporation of bio-inputs capable of optimizing the physical and mechanical properties of earth-based blocks intended for the construction of temporary shelters in socio-environmental disaster scenarios. The methodology was based on experimental procedures using local materials, especially soil and bamboo sawdust, including soil characterization, the development of different mix designs, and the execution of density and dry-state compressive strength tests. In parallel, experiments were conducted with different extrusion nozzle configurations to improve the stability of the 3D printing process and the geometric quality of the produced elements. The results indicated that the addition of bamboo sawdust enhances the mechanical performance of the blocks by acting as a fibrous micro-reinforcement, promoting greater internal cohesion and controlling the propagation of microcracks. The definition of a more efficient nozzle configuration resulted in stable extrusion and greater layer uniformity. It is concluded that the use of local natural materials, combined with digital fabrication, presents high potential for the development of sustainable, accessible, and adaptable construction solutions for Humanitarian Architecture.

Keywords: Humanitarian architecture; Sustainability; Natural materials; Earth-based construction; 3D printing

1. Introdução

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2023), entre 1970 e 2021 o mundo registrou 11.778 desastres naturais relacionados a eventos meteorológicos, climáticos e hídricos, resultando em mais de 2 milhões de mortes e perdas econômicas superiores a 4,3 trilhões de dólares. No Brasil, inundações e chuvas intensas têm se tornado cada vez mais frequentes, afetando comunidades vulneráveis e evidenciando a necessidade de soluções construtivas rápidas, seguras e sustentáveis para abrigar populações afetadas (Costa et al., 2024; Carbonari et al., 2025). No período de 2018 a 2022, os eventos registrados no Brasil tiveram maior incidência em Santa Catarina, com 2.432 ocorrências e 5.972.014 pessoas afetadas (Costa et al., 2024).

Embora abrigos temporários instalados em escolas, ginásios ou igrejas atendam às demandas imediatas, essas estruturas frequentemente apresentam infraestrutura precária, insegurança e ausência de privacidade, comprometendo as condições mínimas de habitabilidade das populações desalojadas (Carbonari, 2018). Além disso, a ocupação desses espaços interfere em atividades essenciais, como educação e convivência comunitária, reforçando a necessidade de soluções alternativas mais adequadas ao contexto emergencial.

Nesse cenário, a Arquitetura Humanitária emerge como um campo de atuação voltado ao

desenvolvimento de soluções construtivas que conciliem rapidez de resposta, eficiência técnica e sensibilidade social. A utilização de materiais naturais e locais, como o solo e resíduos orgânicos, destaca-se por seu potencial de reduzir custos, impactos ambientais e dependência de cadeias logísticas complexas, além de favorecer a adequação cultural das soluções às comunidades atendidas.

Paralelamente, a impressão 3D aplicada à construção civil tem se consolidado como uma tecnologia promissora, permitindo a fabricação automatizada de elementos construtivos com maior rapidez, precisão e flexibilidade formal. No contexto da arquitetura emergencial, essa tecnologia possibilita explorar o uso de materiais locais em sistemas construtivos modulares, potencializando a eficiência produtiva e a adaptabilidade das soluções.

No entanto, apesar dos avanços recentes, observa-se que a maior parte dos estudos sobre impressão 3D na construção civil concentra-se em materiais cimentícios e em condições controladas de laboratório, havendo ainda limitações quanto à aplicação de compósitos à base de solo em contextos reais. Especificamente, carece na literatura uma sistematização das relações entre composição dos materiais naturais, parâmetros de extrusão e desempenho físico-mecânico dos elementos produzidos, sobretudo quando voltados à arquitetura humanitária. Além disso, são escassos os estudos que integrem simultaneamente critérios de viabilidade construtiva, sustentabilidade ambiental e adequação cultural no desenvolvimento dessas soluções.

Diante dessa lacuna, o presente estudo tem como objetivo investigar o potencial da Arquitetura Humanitária aplicada à construção de abrigos temporários por meio da impressão 3D com materiais naturais. O escopo da pesquisa abrange a análise de diferentes composições de materiais locais, considerando aspectos de viabilidade construtiva, sustentabilidade ambiental e adequação cultural, de modo a fornecer subsídios teóricos e metodológicos para o desenvolvimento de soluções construtivas eficientes, sustentáveis e socialmente responsáveis em contextos emergenciais.

2. Referencial Teórico

Este capítulo aborda os conceitos de Arquitetura Humanitária e construção sustentável, com foco no uso de materiais naturais e locais em abrigos temporários. Também apresenta a aplicação da impressão 3D como inovação tecnológica, incorporando aspectos relacionados ao comportamento reológico dos materiais e à viabilidade de extrusão. Por fim, discute atributos ambientais e psicológicos da habitação emergencial, estabelecendo relações com o desempenho técnico dos sistemas construtivos analisados.

2.1 Arquitetura Humanitária e Materiais Naturais

A Arquitetura Humanitária é definida como uma abordagem projetual voltada à criação de soluções habitacionais temporárias em contextos de desastre ou emergência, priorizando segurança, dignidade e bem-estar das populações afetadas (Bedoya, 2004; Vibhas et al., 2021). Diferentemente de construções convencionais, os abrigos emergenciais devem responder rapidamente a demandas sociais, ambientais e culturais, considerando a

vulnerabilidade das comunidades e os impactos dos desastres sobre a vida cotidiana (Félix et al., 2013; Caia et al., 2010).

O uso de materiais naturais e locais, como solo, bambu e resíduos orgânicos, é apontado como estratégia sustentável para abrigos temporários, devido ao seu baixo custo, reduzido impacto ambiental e potencial de adaptação às condições locais (Houben & Guillaud, 1994; Li et al., 2017). No entanto, materiais terrosos apresentam limitações relacionadas à baixa resistência à tração e elevada suscetibilidade à fissuração, o que demanda estratégias de estabilização e reforço para ampliação de seu desempenho mecânico.

Nesse contexto, a estabilização com ligantes hidráulicos, como o cimento Portland, destaca-se como uma das principais técnicas para melhoria do desempenho desses materiais. A formação de produtos de hidratação promove aumento da coesão interna, redução da porosidade e elevação da resistência à compressão, resultando em materiais com comportamento predominantemente rígido e tendência à ruptura quase-frágil (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

Paralelamente, a incorporação de fibras naturais e bioinsumos tem sido amplamente investigada como forma de melhorar o comportamento mecânico desses compósitos. O mecanismo de reforço está associado à atuação das fibras como elementos de ponte (*bridging effect*) ao longo das fissuras, promovendo a transferência de tensões entre as faces fissuradas e retardando a propagação de trincas. Esse processo contribui para o aumento da ductilidade e da capacidade de absorção de energia do material, reduzindo sua fragilidade intrínseca (Bentur & Mindess, 2007; Li, 2007; Savastano et al., 2000).

A eficiência desse reforço depende de fatores como a aderência interfacial entre fibra e matriz, a rugosidade superficial, a orientação e a distribuição das fibras no compósito. Fibras vegetais como bambu destacam-se por sua disponibilidade, baixo impacto ambiental e compatibilidade com propostas de construção sustentável. Contudo, sua variabilidade natural e sensibilidade à umidade ainda representam desafios para a padronização e previsibilidade do desempenho desses materiais (Liu et al., 2020; Riley et al., 2020).

2.2 Impressão 3D na Construção com Materiais Naturais

A impressão 3D aplicada à construção civil surge como uma tecnologia promissora para a Arquitetura Humanitária, permitindo a fabricação automatizada de elementos construtivos com rapidez, precisão e flexibilidade formal (Buswell et al., 2018). No contexto emergencial, essa tecnologia possibilita a produção de abrigos modulares adaptáveis, com potencial de personalização e reaproveitamento (Perkins & Skitmore, 2015; Wolfs et al., 2020).

Entretanto, a viabilidade da impressão 3D está diretamente condicionada ao comportamento dos materiais no estado fresco, especialmente no que se refere às suas propriedades reológicas. Parâmetros como tensão de escoamento, viscosidade plástica e tixotropia influenciam a extrudabilidade, a estabilidade das camadas depositadas e a precisão geométrica dos elementos produzidos.

Para materiais à base de solo, o principal desafio consiste em equilibrar a fluidez

necessária para permitir a extrusão contínua com a rigidez suficiente para garantir a estabilidade após a deposição. Esse equilíbrio define a chamada “janela de extrusão”, na qual o material apresenta desempenho adequado tanto durante o fluxo quanto na manutenção da forma construída.

Além disso, a capacidade de construção (*buildability*) está relacionada à resistência inicial do material em suportar camadas sucessivas sem colapso ou deformações excessivas. Esse comportamento depende diretamente da composição do material, incluindo o teor de ligantes, a presença de fibras e o teor de umidade.

Nesse sentido, observa-se que materiais com maior teor de cimento tendem a apresentar maior rigidez inicial e estabilidade estrutural, enquanto compósitos com fibras naturais podem contribuir para a coesão do material fresco e para a integridade após a deposição, embora possam alterar a trabalhabilidade e a resposta reológica. Assim, a compreensão integrada entre formulação do compósito e parâmetros de impressão torna-se essencial para o desenvolvimento de sistemas construtivos eficientes baseados em manufatura aditiva com materiais naturais (Zhang et al., 2021; Wang et al., 2021).

2.3 Evolução do desempenho mecânico e comportamento estrutural

O desenvolvimento da resistência mecânica em materiais cimentícios está diretamente relacionado ao tempo de cura, sendo resultado das reações de hidratação do cimento ao longo do tempo. Em idades iniciais, como aos 28 dias, grande parte da resistência já está estabelecida, porém ganhos adicionais podem ocorrer em idades mais avançadas, como aos 90 dias (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

A magnitude desse ganho depende da composição do material. Sistemas com maior teor de ligante cimentício tendem a apresentar crescimento contínuo de resistência e comportamento mais rígido, enquanto compósitos reforçados com fibras podem apresentar respostas mecânicas mais complexas, com maior capacidade de deformação e absorção de energia.

Do ponto de vista do comportamento estrutural, materiais cimentícios estabilizados apresentam, em geral, resposta quase-frágil, caracterizada por elevada resistência à compressão e ruptura relativamente abrupta. Por outro lado, a presença de fibras promove alterações no modo de ruptura, possibilitando comportamento pseudo-dúctil, com desenvolvimento progressivo de fissuras e redistribuição de tensões internas (Naaman, 2003; Li, 2007).

Essa distinção é fundamental para a análise do desempenho dos compósitos, uma vez que diferentes aplicações podem demandar maior rigidez ou maior ductilidade. Assim, a combinação entre matriz cimentícia e reforço fibroso pode representar uma estratégia eficiente para otimização simultânea da resistência e da tenacidade do material.

2.4 Influência da água na durabilidade dos compósitos

A durabilidade de materiais à base de solo está fortemente associada à sua resistência à

ação da água, sendo este um dos principais fatores limitantes para sua aplicação em sistemas construtivos (Houben & Guillaud, 1994; Walker et al., 2005).

A presença de água pode provocar redução significativa da resistência mecânica devido à diminuição das forças de coesão interna, ao aumento da porosidade efetiva e ao enfraquecimento da interface entre matriz e reforço. Em situações mais críticas, pode ocorrer desagregação parcial ou total do material, especialmente em compósitos com baixa estabilização (Delgado, 2022).

A adição de cimento contribui para a formação de uma matriz mais estável e menos suscetível à degradação, aumentando a resistência à umidade e a durabilidade do material (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014). Por outro lado, a incorporação de fibras naturais pode aumentar a absorção de água e influenciar negativamente o desempenho em condições saturadas, caso não haja adequada compatibilização entre os constituintes (Félix et al., 2013; Vibhas et al., 2021).

Dessa forma, o desempenho em condição úmida depende do equilíbrio entre estabilização cimentícia e reforço fibroso. Esse aspecto é determinante para a viabilidade de aplicação desses materiais em contextos reais, especialmente em situações de exposição ambiental e uso em abrigos emergenciais.

2.5 Influência da densidade no comportamento mecânico dos corpos de prova

A densidade aparente e a porosidade desempenham papel fundamental no comportamento mecânico de materiais cimentícios e compósitos à base de terra. De modo geral, a resistência à compressão está diretamente relacionada à redução do volume de vazios e ao aumento da densificação da matriz, o que favorece a transferência de tensões e reduz a ocorrência de descontinuidades internas (NEVILLE, 2011; MEHTA; MONTEIRO, 2014; MINDESS et al., 2003).

Em materiais terrosos estabilizados, essa relação torna-se ainda mais relevante, uma vez que a presença de vazios influencia não apenas a resistência mecânica, mas também a durabilidade e o comportamento frente à ação da água. Materiais com maior porosidade tendem a apresentar maior absorção de água e maior suscetibilidade à degradação estrutural (HOUBEN; GUILLAUD, 1994; WALKER et al., 2005).

Além disso, a presença de água nos poros pode reduzir significativamente a resistência mecânica, devido ao enfraquecimento das ligações interpartículas e ao aumento das pressões internas, especialmente em materiais com estrutura pouco compacta. Dessa forma, a análise conjunta entre densidade, porosidade e comportamento em condição saturada é essencial para a compreensão do desempenho desses compósitos (FÉLIX et al., 2013; DELGADO, 2022).

2.6 Atributos ambientais e qualidade de abrigos temporários

Estudos sobre ambientes restauradores e percepção ambiental evidenciam que atributos espaciais e construtivos influenciam diretamente o conforto, a habitabilidade e o bem-estar dos ocupantes (Ulrich, 1984; Kaplan & Kaplan, 1989). Fatores como conforto térmico e

acústico, iluminação, privacidade, organização espacial e possibilidade de personalização contribuem para a redução do estresse e para a promoção de sensações de segurança e pertencimento.

No contexto de abrigos temporários pós-desastre, soluções eficazes devem ir além da provisão mínima de abrigo, incorporando qualidades ambientais e culturais que favoreçam a recuperação física e psicológica das populações afetadas (Bedoya, 2004; Félix et al., 2013; Vibhas et al., 2021; Delgado, 2022).

Nesse sentido, a escolha dos materiais e das tecnologias construtivas influencia diretamente esses atributos. Propriedades como inércia térmica, textura superficial, regulação de umidade e comportamento mecânico impactam tanto o desempenho ambiental quanto a experiência do usuário.

Assim, os aspectos técnicos abordados neste estudo — incluindo composição dos materiais, comportamento reológico, resistência mecânica e durabilidade — devem ser compreendidos de forma integrada, uma vez que influenciam não apenas a viabilidade construtiva, mas também a qualidade ambiental e o desempenho global dos abrigos emergenciais.

3. Procedimentos Metodológicos

A pesquisa possui caráter experimental e está vinculada à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sendo desenvolvida no contexto do projeto INFRASHELTER. Os procedimentos metodológicos foram estruturados com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica de materiais compósitos à base de solo e bioinsumos naturais para aplicação em sistemas construtivos temporários produzidos por extrusão e impressão 3D. A metodologia foi organizada em etapas sequenciais e complementares, descritas a seguir.

3.1 Coleta e caracterização do solo

3.2 Coleta e preparação do solo

A preparação das amostras iniciou-se com a coleta de solo proveniente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo do campus da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. Inicialmente, descartou-se a camada superficial do solo, com aproximadamente 4 cm de espessura, procedendo-se, em seguida, à escavação para obtenção de camadas mais profundas. Antes do processo de secagem, realizou-se a remoção manual de galharias e partículas de maior dimensão que poderiam interferir nos resultados das análises (Fig. 1A).

A secagem do solo foi realizada em estufa a 50 °C durante um período de 24 horas (Fig. 1B). Após a secagem, o material foi peneirado de acordo com as orientações da norma ABNT NBR 7181, garantindo a obtenção de uma granulometria adequada aos ensaios laboratoriais. Em seguida, o solo passou por processo de destorroamento e moagem em moinho de bolas, operando por 1 hora, com rotação entre 35 e 45 rpm. O moinho utilizado possuía recipiente de porcelana com capacidade de 1000 mL, equipado com tampa e guarnição de borracha,

sendo empregado um conjunto de 21 esferas com diâmetro aproximado de 3,6 cm e 73 esferas com diâmetro aproximado de 2,1 cm (Fig. 1C).



Figura 1. Coleta, secagem, destorroamento e moagem do solo Fonte: Os autores (2025)

3.3 Preparação dos bioinsumos

Como bioinsumo natural, utilizou-se serragem de bambu, selecionada em função de seu potencial como reforço fibroso e de sua ampla disponibilidade regional. O material passou por processo de trituração mecânica, visando a obtenção de partículas finas e homogêneas, adequadas à incorporação na matriz de solo, mas também fibras maiores para avaliar a diferença no desempenho dos corpos de prova com fibras maiores e menores (Fig. 2A e 2B). A serragem preparada foi armazenada em condições naturais até o momento da utilização dos traços experimentais e usada. Por último, foi proposto o uso de um mix entre fibras maiores e menores na composição do traço (C05*), como na (Fig. 2C).



Figura 2. Preparação de Bioinsumos, Fonte: Os autores (2026).

3.4 Definição e preparo dos traços experimentais

Foram definidos diferentes traços experimentais a partir da combinação de solo, cimento, água e serragem de bambu, com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico e a extrudabilidade das misturas, sendo C01 (Composição 1) C02 (Composição 2), C03 (Composição 3), C04 (Composição 4) e C05* (Composição 5*), conforme a (Tabela 1).

Tabela 1: Quantidade de insumos e porcentagens correspondentes para os corpos de prova confeccionados com solo, cimento, bambu e água.

Traço	Solo (g) (%)		Cimento (g) (%)		Bambu (g) (%)		Água (g) (%)	
C01	4500	78,26	0	0	0	0	1250	21,74
C02	3550	61,21	950	16,38	0	0	1300	22,41
C03	4050	63,28	0	0	450	7,03	1900	29,69
C04	3100	42,47	950	13,01	450	6,16	2800	38,36
C05*	2200	30,14	950	13,01	1350	18,49	2800	38,36

Fonte: Os autores (2026).

As proporções dos insumos foram estabelecidas conforme os objetivos do estudo, variando os teores de cimento e bioinsumo, mantendo-se controle sobre a quantidade de água adicionada. A seguir, uma comparação entre os corpos de prova (Fig 3).

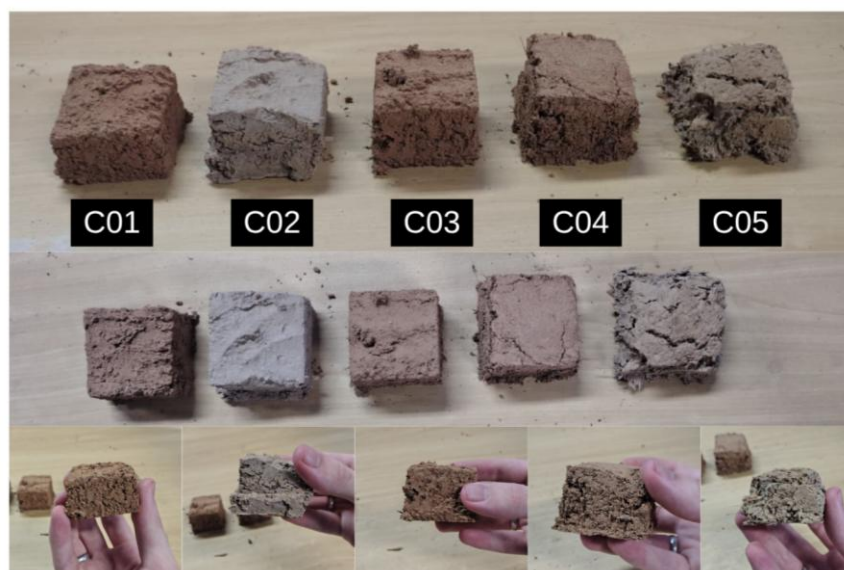


Figura 3. Comparação dos corpos de prova, Fonte: Os autores (2026).

3.5 Produção dos corpos de prova por extrusão

Os materiais secos foram inicialmente homogeneizados, sendo a água adicionada gradualmente até a obtenção de uma mistura com consistência adequada para extrusão, caracterizada por plasticidade suficiente para escoamento contínuo, sem perda excessiva de coesão ou deformações após a deposição.

A confecção dos corpos de prova foi realizada por meio de uma extrusora equipada com rosca de Arquimedes, acionada por motores elétricos e controlada por sistema PWM, permitindo o ajuste da velocidade de extrusão (Fig. 4A). O equipamento possibilitou a deposição controlada do material em camadas sucessivas, simulando o processo de impressão

3D por deposição de material. Para facilitar o escoamento das misturas com maior coesão interna e reduzir o atrito entre o material e as superfícies internas do equipamento, foi utilizado um desmoldante aplicado previamente na rosca e no envoltório da extrusora, bem como nos moldes de conformação (Fig.4B).

Os corpos de prova foram moldados em formato cúbico, com dimensões de 50 × 50 × 50 mm, e armazenados em ambiente protegido, sob temperatura ambiente, para o processo de cura inicial (Fig.4C e 4D).

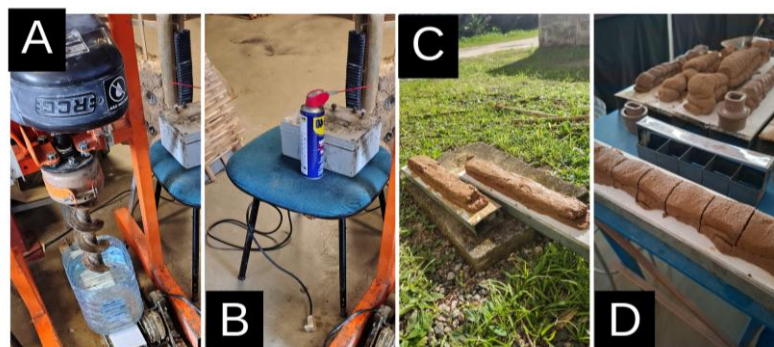


Figura 4. Produção dos corpos de prova, Fonte: Os autores (2026).

3.6 Seleção e validação da ponteira de extrusão

A definição da ponteira de extrusão adotada neste estudo fundamentou-se nos ensaios realizados por Rubin (2021), que analisaram diferentes geometrias de bicos e sua influência na qualidade da deposição. Conforme a autora, ponteiras com maior abertura ou com suportes de alisamento apresentaram problemas como curvaturas indesejadas, arrastamento do material, fissuras e perda de uniformidade das camadas, comprometendo a estabilidade geométrica e o acabamento superficial.

Em contraste, a ponteira com saída retangular de 4,7 × 2,3 cm, sem suportes laterais, apresentou melhor controle do fluxo, menor deformação plástica e maior homogeneidade das camadas, sendo selecionada como padrão nos ensaios de referência (Fig. 5).



Figura 5. Opções de ponteiros, Fonte: Os autores (2026).

No presente trabalho, foram conduzidos ensaios experimentais no estado fresco e seco, avaliando extrudabilidade, retenção de forma e estabilidade geométrica em traços que incorporam solo. Os resultados obtidos mostraram comportamento equivalente ao descrito por Rubin (2021), confirmando a adequação da ponteira selecionada e justificando sua adoção neste estudo, conforme ilustrado na Figura 6.



Figura 6. Resultados obtidos com as ponteiros não escolhidas (A, B, C e D), e resultado da ponteira escolhida (E), Fonte: Os autores (2026).

3.7 Ensaios de resistência mecânica

Os ensaios de resistência mecânica à compressão simples foram realizados em prensa de compressão (Wykeham Farrance Engineering Ltd.), com aplicação controlada de carga axial, equipamento amplamente utilizado em laboratórios de caracterização de materiais. A prensa opera por acionamento manual, permitindo a aplicação gradual e contínua da carga axial sobre os corpos de prova posicionados entre pratos metálicos planos.

A carga aplicada foi monitorada por meio de sistema analógico integrado ao equipamento, possibilitando o acompanhamento progressivo das tensões até a ruptura do material, garantindo maior controle do ensaio e reprodutibilidade dos resultados. Nesta etapa da pesquisa, a resistência à compressão simples (QU) foi avaliada para corpos de prova secos e submersos em água por 24 horas antes do teste. Foram avaliados 5 traços distintos (C01, C02, C03, C04 e C05*), submetidos a ensaios de compressão em prensa hidráulica, com taxa de carregamento de 0,5 kN/s. Para a regularização do contato entre os corpos de prova e as placas da prensa, utilizou-se neoprene com espessura de 1 mm e acabamento liso, aplicado como capeamento, conforme a figura 7A, a fim de assegurar a aplicação mais uniforme da carga, como na figura 7B.

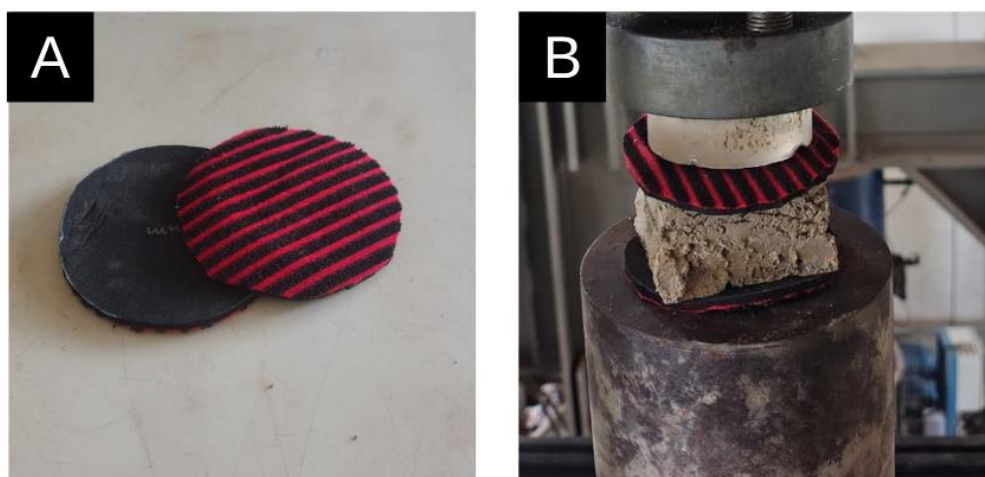


Figura 7. Utilização do Neoprene como Capeamento, Fonte: Os autores (2026).

Antes da realização dos ensaios, foram coletadas as dimensões dos corpos de prova (altura, largura e profundidade), possibilitando o cálculo do volume e da densidade. Em seguida, as amostras foram submetidas aos testes de compressão, conforme ilustrado na Figura 8.



Figura 8. Realização do teste de resistência mecânica, Fonte: Os autores (2026).

4. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos evidenciam que o desempenho mecânico dos compósitos analisados está diretamente relacionado à composição dos traços, especialmente no que se refere à presença de ligantes cimentícios, à incorporação de fibras naturais e ao grau de densificação da matriz. De modo geral, observou-se que a combinação entre solo, cimento e bioinsumos fibrosos resulta em melhorias significativas na resistência à compressão, indicando a atuação de mecanismos físicos complementares.

Do ponto de vista microestrutural, o ganho de resistência pode ser explicado, inicialmente, pela redução da porosidade e aumento da densidade aparente, promovidos pela melhor distribuição granulométrica e pelo preenchimento de vazios na matriz. Esse processo resulta em uma estrutura mais compacta, capaz de distribuir de maneira mais eficiente as tensões aplicadas, elevando a resistência mecânica do material (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

Além disso, nos traços contendo cimento, o aumento da resistência está associado à formação de produtos de hidratação, especialmente os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), responsáveis pela coesão interna da matriz e pela ligação entre as partículas sólidas. Esse mecanismo promove maior rigidez e resistência à compressão, sendo determinante para o desempenho superior observado em composições cimentícias (Neville, 2011).

Paralelamente, a incorporação de fibras de bambu contribui para o desempenho mecânico por meio do chamado efeito de ponte (bridging effect), no qual as fibras atuam na transferência de tensões entre regiões fissuradas, retardando a propagação de trincas e aumentando a capacidade de absorção de energia do compósito. Esse comportamento resulta em maior tenacidade e em um modo de ruptura menos abrupto, caracterizando um comportamento pseudo-dúctil (Bentur & Mindess, 2007; Li, 2007; Savastano et al., 2000).

Adicionalmente, a eficiência desse reforço está relacionada à interação entre fibra e matriz, incluindo fatores como aderência interfacial, distribuição e orientação das fibras, os

quais influenciam diretamente a capacidade de transferência de tensões e o controle da fissuração (Li, 2007; Liu et al., 2020).

4.1 Desempenho mecânico aos 28 dias

No que se refere aos resultados obtidos aos 28 dias de cura (Tabela 2), observa-se que o traço C03 apresentou desempenho superior ao traço de referência C01, evidenciando o efeito positivo da incorporação de fibras naturais. Enquanto o traço C01 apresentou resistência média de 516,98 kPa, o traço C03 atingiu 757,42 kPa, representando um ganho significativo de resistência.

Esse comportamento pode ser atribuído não apenas ao controle da propagação de fissuras promovido pelas fibras, mas também à melhoria da coesão interna e ao rearranjo das partículas no compósito, contribuindo para uma estrutura mais estável e resistente. A presença das fibras favorece a redistribuição de tensões internas, reduzindo a concentração de esforços em pontos críticos e retardando o colapso do material (Savastano et al., 2000; Li, 2007).

Tabela 2: Resultados do teste de resistência mecânica à compressão realizados com 28 dias.

Amostra (código)	Lado	Profundidade	Altura	Volum e	Densidade	Densidade média	Massa (g)	Deslocamento	Carga KN	QU - KPA	Média QU	Kpa	CV
C01-1	4,50	4,50	3,40	68,85	1,63	1,57	111,9	5,00	0,80	505,13	516,98	48,66	9,41%
C01-2	4,30	4,60	3,50	69,23	1,71		118,6	5,00	0,80	553,21			
C01-3	4,60	5,90	3,40	92,28	1,35		124,6	6,00	0,96	580,08			
C01-4	4,70	5,30	3,50	87,19	1,46		127,7	5,00	0,80	463,05			
C01-5	4,60	4,60	3,80	80,41	1,72		138,4	5,00	0,80	483,40			
C03-1	4,80	5,00	4,60	110,40	1,63	1,05	124,6	9,00	1,45	799,13	757,42	63,50	8,38%
C03-2	5,00	5,10	4,40	112,20	1,71		111,6	8,00	1,29	654,64			
C03-3	4,70	4,80	4,20	94,75	1,35		112,3	8,00	1,29	740,88			
C03-4	4,80	4,70	5,00	112,80	1,46		120,0	8,00	1,29	710,34			
C03-5	4,80	4,70	4,90	110,54	1,72		95,6	8,00	1,29	710,34			
C03-6	4,60	4,60	4,80	101,57	1,20		121,5	9,00	1,45	870,13			
C03-7	4,70	4,70	4,50	99,41	1,19		118,2	9,00	1,45	833,49			

C03-8	4,70	4,70	4,80	106,03	1,15		122,0	8,00	1,29	740,88			
C03-9	4,60	4,70	5,00	108,10	1,17		126,4	8,00	1,29	773,45			
C03-10	4,70	4,70	4,80	106,03	1,04		110,4	8,00	1,29	740,88			

Fonte: Os autores (2026).

4.2 Desempenho mecânico aos 90 dias

Para os ensaios realizados aos 90 dias de cura (Tabela 3), foi possível avaliar todas as composições desenvolvidas, permitindo uma análise comparativa mais abrangente.

Tabela 3: Resultados do teste de resistência mecânica à compressão realizados com 90 dias.

Amostr a (código)	Lado	Profu ndida de	Altura	Volum e	Massa (g)	Densi dade	Densi dade média	Desloca mento	Carga KN	QU - KPA	Média QU	Kpa	CV
C01-1	4,50	4,50	3,40	68,85	111,9	1,63	1,57	5,00	0,80	395,06	370,51	33,41	9,02%
C01-2	4,30	4,60	3,50	69,23	118,6	1,71		5,00	0,80	404,45			
C01-3	4,60	5,90	3,40	92,28	124,6	1,35		6,00	0,96	353,79			
C01-4	4,70	5,30	3,50	87,19	127,7	1,46		5,00	0,80	321,17			
C01-5	4,60	4,60	3,80	80,41	138,4	1,72		5,00	0,80	378,07			
C02-1	5,00	5,00	3,20	80,00	132,5	1,66	1,72	17,50	2,81	1124,00	1281,28	99,87	7,79%
C02-2	5,00	5,00	3,40	85,00	144,2	1,70		21,00	3,37	1348,00			
C02-3	4,50	5,00	2,90	65,25	102,8	1,58		17,50	2,81	1248,89			
C02-4	5,00	5,00	3,20	80,00	147,6	1,80		21,00	3,37	1348,00			
C02-5	5,00	4,80	3,00	72,00	131,8	1,83		20,00	3,21	1337,50			
C03-1	4,50	4,80	3,50	75,60	134,9	1,78	1,65	9,00	1,45	671,30	574,78	101,92	17,73%
C03-2	4,50	5,00	3,50	78,75	133,3	1,69		9,00	1,45	644,44			
C03-3	5,00	5,30	3,70	98,05	146,6	1,50		7,00	1,12	422,64			
C03-4	4,50	4,80	3,50	75,60	126,2	1,67		7,00	1,12	518,52			
C03-5	4,70	5,00	3,30	77,55	126	1,62		9,00	1,45	617,02			
C04-1	4,80	4,80	3,40	78,34	89,1	1,63	1,65	8,00	1,29	559,03	534,41	44,65	8,35%
C04-2	4,80	4,80	3,40	78,34	94,7	1,64		8,00	1,29	559,03			

C04-3	4,80	4,90	3,90	91,73	90,4	1,65		7,00	1,12	476,19			
C04-4	4,80	5,20	3,00	74,88	90,6	1,67		9,00	1,45	581,33			
C04-5	4,70	4,80	3,50	78,96	103,4	1,67		7,00	1,12	496,45			
C05-1	5,50	5,00	3,50	96,25	95,7	1,61		14,0	2,20	800,00			
C05-2	5,50	6,00	3,50	115,50	106	1,62		12,5	2,05	621,21			
C05-3	5,50	5,50	3,80	114,95	100,3	1,61		12,5	2,05	677,69			
C05-4	5,50	6,00	4,00	132,00	101,6	1,62		12,5	2,08	630,30			
C05-5	5,00	5,00	3,50	87,50	84,7	1,61	1,61	14,0	2,15	860,00	717,84	31,14	14,70%

Fonte: Os autores (2026).

O traço C02 apresentou o maior valor de resistência média à compressão (1281,28 kPa), destacando-se significativamente em relação aos demais. Esse resultado está diretamente associado à presença de cimento na composição, o que promove maior densificação da matriz e formação de produtos cimentícios responsáveis pelo aumento da coesão interna e da rigidez do material (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

Por outro lado, o traço C03, composto por solo e fibras de bambu, apresentou resistência intermediária (574,78 kPa), indicando que, embora as fibras contribuam para o controle da fissuração e melhoria da tenacidade, seu efeito isolado não é suficiente para alcançar os níveis de resistência proporcionados pela estabilização cimentícia.

Os traços C04 e C05*, que combinam cimento e fibras, apresentaram desempenho mecânico superior ao solo puro, porém inferior ao traço exclusivamente cimentado (C02), sugerindo que a incorporação de grandes quantidades de fibras pode interferir na densificação da matriz e aumentar a porosidade do compósito, reduzindo parcialmente a resistência à compressão. Em contrapartida, o traço C05* apresentou comportamento distinto, marcado por deformação lateral significativa antes da ruptura, evidenciando um regime pseudo-dúctil. Esse fenômeno está associado à atuação do mix entre maiores e menores fibras de bambu, que promovem o *bridging effect*, dificultando a propagação abrupta de fissuras e aumentando a capacidade de deformação do material. Esse comportamento está alinhado com estudos que indicam que o excesso de fibras pode prejudicar o empacotamento das partículas e aumentar a absorção de água, afetando negativamente a resistência mecânica (Félix et al., 2013; Vibhas et al., 2021; Bentur & Mindess, 2007; Li, 2007).



Figura 9. Corpos de prova antes e após submersão em água, Fonte: Os autores (2026).

4.3 Relação entre densidade e resistência mecânica

A análise conjunta dos resultados permite identificar uma tendência direta entre densidade e resistência à compressão, na qual traços mais densos tendem a apresentar melhor desempenho mecânico.

Esse comportamento pode ser explicado pela redução do volume de vazios internos, resultando em maior área efetiva de transferência de tensões e menor concentração de esforços localizados. Materiais mais densos apresentam, portanto, maior capacidade de suportar cargas, uma vez que a presença reduzida de poros limita a nucleação e propagação de fissuras (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

No presente estudo, observa-se que o traço C02, que apresentou a maior resistência, também corresponde a uma composição com maior grau de compactação e menor teor de vazios, devido à presença de cimento e menor interferência de materiais fibrosos. Em contrapartida, traços com maior teor de fibras, como o C05*, tendem a apresentar menor densificação, em função da incorporação de partículas leves e da possível retenção de ar na matriz, o que impacta negativamente a resistência à compressão.

Dessa forma, os resultados indicam que, embora a adição de fibras contribua para o controle da fissuração e melhoria da ductilidade, o aumento da resistência mecânica está mais fortemente associado ao grau de densificação e à presença de ligantes cimentícios, evidenciando a importância do equilíbrio entre esses fatores na otimização do desempenho dos compósitos.

4.4 Análise comparativa da evolução mecânica

Os resultados obtidos evidenciam que o desempenho mecânico dos compósitos analisados está diretamente relacionado à composição dos traços, especialmente no que se refere à presença de ligantes cimentícios, à incorporação de fibras naturais e ao grau de

densificação da matriz. De modo geral, observou-se que a combinação entre solo, cimento e bioinsumos fibrosos resulta em melhorias significativas na resistência à compressão, indicando a atuação de mecanismos físicos complementares.

Do ponto de vista microestrutural, o ganho de resistência pode ser explicado, inicialmente, pela redução da porosidade e aumento da densidade aparente, promovidos pela melhor distribuição granulométrica e pelo preenchimento de vazios na matriz. Esse processo resulta em uma estrutura mais compacta, capaz de distribuir de maneira mais eficiente as tensões aplicadas, elevando a resistência mecânica do material (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

Além disso, nos traços contendo cimento, o aumento da resistência está associado à formação de produtos de hidratação, especialmente os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), responsáveis pela coesão interna da matriz e pela ligação entre as partículas sólidas. Esse mecanismo promove maior rigidez e resistência à compressão, sendo determinante para o desempenho superior observado em composições cimentícias (Neville, 2011).

4.5 Desempenho em condição úmida (imersão por 24h)

Adicionalmente, foram realizados ensaios de resistência à compressão em corpos de prova após imersão em água por 24 horas (Tabela 4), com o objetivo de avaliar o comportamento dos compósitos em condição saturada. Esse tipo de análise é fundamental para materiais à base de solo, cuja durabilidade está diretamente relacionada à resistência à ação da água (Houben & Guillaud, 1994; Walker et al., 2005).

Tabela 4: Resultados do teste de resistência mecânica à compressão realizados com 90 dias e submersos em água por 24 horas antes do teste.

Amostra (código)	Lado	Profundidade	Altura	Volume	Massa (g)	Densidade	Densidade média seca	Densidade média úmida	Deslocamento	Carga KN	QU - KPA	Média QU	Kpa	CV
C02-1	5,20	4,50	3,40	79,56	151,6	1,78			24,00	3,86	1649,57			
seco	5,20	4,50	3,40	79,48	148,6	1,66								
C02-2	5,00	5,60	3,00	84,00	155,7	1,78			11,00	1,77	632,14			

seco	5,00	5,60	3,00	83,92	152,6	1,70	~1,72	~1,84				1169,97	360,32	30,79%
C02-3	5,00	5,50	3,00	82,50	151,6	1,81			21,00	3,37	1225,45			
seco	5,00	5,50	3,00	82,42	148,6	1,58								
C02-4	4,90	5,50	3,00	80,85	141,1	1,89			19,00	3,05	1131,73			
seco	4,90	5,50	3,00	80,77	138,3	1,85								
C02-5	5,50	5,30	3,60	104,94	166,9	1,93			22,00	3,53	1210,98			
seco	5,50	5,30	3,60	104,83	163,6	1,83								
C03-1	Dissolveu totalmente em água após 24h													
C03-2														
C03-3														
C03-4														
C03-5														
C04-1	Ficou em bloco, mas ao mexer se dissolve													
C04-2														
C04-3														
C04-4														
C04-5														
C05-1	6,40	4,30	3,50	96,32	139,7	1,42	~1,21	~1,47	8,00	1,29	468,97	596,65	97,35	16,32%
seco	6,40	4,30	3,50	96,22	136,9	1,40								
C05-2	5,20	5,70	4,00	118,56	146,3	1,42			10,00	1,61	543,23			
seco	5,20	5,70	4,00	118,44	143,4	1,31								
C05-3	4,50	5,50	3,50	86,63	125,6	1,39			11,00	1,77	715,15			
seco	4,50	5,50	3,50	86,54	123,1	1,24								
C05-4	5,50	5,00	3,50	96,25	136,8	1,57			10,00	1,61	585,45			

Fonte: Os autores (2026).

Para o conjunto C02, os valores de resistência à compressão simples (QU), calculados a partir da carga de ruptura e da área da seção transversal, apresentaram média de 1169,97 kPa, com desvio padrão de 360,32 kPa e coeficiente de variação de 30,79%. Esse elevado coeficiente de variação indica alta dispersão dos resultados, sugerindo heterogeneidade na composição do material ou inconsistências no processo de moldagem e compactação dos corpos de prova. Entretanto, o traço C02 apresentou o melhor desempenho em condição úmida, evidenciando a eficiência da matriz cimentícia na redução da porosidade e no aumento da durabilidade (Neville, 2011; Mehta & Monteiro, 2014).

No caso do conjunto C05, a média de resistência foi de 596,65 kPa, com desvio padrão de 97,35 kPa e coeficiente de variação de 16,32%. Embora inferior à observada em C02, a variabilidade ainda pode ser considerada moderada, indicando que, apesar de um comportamento mais uniforme, ainda há influência de fatores experimentais na dispersão dos resultados. Por outro lado, apresenta redução significativa em relação à condição seca. Ainda assim, manteve sua integridade estrutural, o que pode ser atribuído à atuação das fibras como elementos de reforço, contribuindo para a coesão residual do material (Savastano et al., 2000; Bentur & Mindess, 2007).

A análise dos dados experimentais evidencia uma relação direta entre densidade aparente e resistência à compressão. O traço C02 apresentou os maiores valores de densidade, tanto no estado seco quanto saturado, sendo também o que apresentou melhor

desempenho mecânico. Esse comportamento indica uma matriz mais compacta e com menor volume de vazios, favorecendo a transferência de tensões internas.

Por outro lado, o traço C05 apresentou menores densidades no estado seco, além de maior variação após saturação, indicando maior porosidade e maior conectividade de vazios. Esse fator contribui para a redução da resistência mecânica, uma vez que a presença de descontinuidades internas compromete a integridade estrutural do material.

Esses resultados confirmam o comportamento descrito na literatura, segundo o qual materiais mais densos tendem a apresentar maior resistência mecânica devido à menor presença de defeitos internos (MINDESS et al., 2003; NEVILLE, 2011).

A comparação entre os corpos de prova secos e após imersão, apresentada nas Figuras 10A e 10B, evidencia visualmente o impacto da água na integridade dos compósitos, destacando a degradação dos traços menos estabilizados.



Figura 10. Corpos de prova antes e depois, Fonte: Os autores (2026).

5. Considerações Finais

O presente estudo permitiu analisar de forma integrada o desempenho técnico de compósitos à base de solo, cimento e bioinsumos naturais, com foco em sua aplicação em sistemas construtivos temporários produzidos por extrusão e impressão 3D. Os resultados evidenciaram que o comportamento mecânico, a durabilidade e a estabilidade dos elementos extrudados estão diretamente relacionados à composição dos materiais, ao tempo de cura e às condições de exposição, especialmente à presença de umidade, bem como à densidade

aparente e à porosidade da matriz.

No que se refere ao desempenho mecânico, verificou-se que composições com maior teor de ligante cimentício, como o traço C02, apresentaram os maiores valores de resistência à compressão, tanto em condição seca quanto após imersão em água. Esse comportamento está associado à formação de uma matriz mais coesa, densa e menos suscetível à degradação, resultando em resposta mecânica predominantemente rígida e de caráter quase-frágil. A maior densificação da matriz implica menor volume de vazios e maior eficiência na transferência de tensões internas, contribuindo diretamente para o aumento da resistência.

Por outro lado, os compósitos reforçados com fibras de bambu, em especial o traço C05, apresentaram comportamento mecânico distinto, caracterizado por maior capacidade de deformação e ruptura progressiva. A atuação das fibras como mecanismos de ponte entre fissuras contribuiu para o aumento da ductilidade e da absorção de energia, evidenciando o potencial dos bioinsumos naturais na modificação do modo de ruptura dos materiais. Entretanto, observou-se que a presença de maior volume de vazios nesse traço resultou em menores densidades aparentes e maior suscetibilidade à absorção de água.

A análise comparativa entre os diferentes traços demonstrou que o desempenho dos compósitos não deve ser avaliado exclusivamente em função da resistência máxima, mas também considerando aspectos como ductilidade, integridade estrutural, comportamento pós-fissuração e estabilidade frente à ação da água. Nesse sentido, os resultados indicam que a combinação entre matriz cimentícia e reforço fibroso pode representar uma estratégia promissora para o desenvolvimento de materiais com desempenho otimizado, desde que haja controle adequado da porosidade e da compactação.

Em relação à durabilidade, os ensaios em condição úmida evidenciaram que a presença de água exerce influência significativa no comportamento dos materiais, promovendo redução da resistência mecânica e, em alguns casos, desagregação do compósito. A análise da variação de densidade entre os estados seco e saturado permitiu identificar diferenças importantes entre os traços, sendo que materiais com maior variação apresentaram maior absorção de água e maior conectividade de poros. Observou-se que apenas os traços com maior grau de estabilização e menor porosidade mantiveram integridade após a imersão, destacando a importância do controle da microestrutura para a durabilidade.

No contexto da impressão 3D, os resultados reforçam que o desempenho dos elementos extrudados não depende apenas das propriedades no estado fresco, mas também da evolução das propriedades mecânicas ao longo do tempo. A interação entre reologia, capacidade de construção (buildability) e resistência final mostrou-se determinante para a viabilidade dos sistemas construtivos propostos, bem como na demonstração de que escolhas aparentemente pontuais, como a seleção da ponteira de extrusão, exercem influência direta sobre a retenção de forma, a estabilidade dimensional e a reprodutibilidade dos ensaios. Ao integrar experimentação material e controle de processo, o estudo reforça a necessidade de abordagens projetuais e construtivas mais sensíveis às especificidades do uso emergencial.

Como contribuição, o estudo demonstra que a incorporação de bioinsumos naturais pode

ampliar as possibilidades de desenvolvimento de materiais sustentáveis para aplicações emergenciais, desde que associada a estratégias adequadas de estabilização e controle da densidade. Além disso, evidencia que a definição da composição do material deve considerar simultaneamente critérios de resistência, ductilidade, durabilidade, porosidade e processabilidade.

Por fim, conclui-se que o desenvolvimento de sistemas construtivos baseados em impressão 3D com materiais naturais representa uma alternativa promissora para a Arquitetura Humanitária, desde que orientado por uma abordagem integrada que concilie desempenho mecânico, viabilidade construtiva, durabilidade e sustentabilidade. Destaca-se, ainda, que a densidade aparente se mostrou um parâmetro-chave na avaliação do desempenho dos compósitos, permitindo correlacionar propriedades físicas e mecânicas e contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficientes, resilientes e adequadas a contextos de emergência.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8492:2012. Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10833:2012. Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BEDOYA, C. Arquitectura y construcción con tierra: tradición e innovación. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2004.

BUSWELL, R. A.; LEAL DE SILVA, W. R.; JONES, S. Z.; DIRRENBARGER, J. 3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research. *Cement and Concrete Research*, v. 112, p. 37–49, 2018.

DELGADO, J. M. P. Q. Sustainable materials in construction: performance and durability. Cham: Springer, 2022.

FÉLIX, E. F.; et al. Avaliação de materiais de terra estabilizada para construção. *Revista Matéria*, v. 18, n. 2, p. 1234–1245, 2013.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. Earth construction: a comprehensive guide. London: Intermediate Technology Publications, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. Concrete. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2003.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.



RUBIN, J. Avaliação de parâmetros de extrusão em impressão 3D com materiais cimentícios. 2021. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

VIBHAS, V.; et al. 3D printing in construction: materials and techniques. Construction and Building Materials, v. 295, 2021.

WALKER, P.; KEABLE, R.; MARTIN, J.; MANIATIDIS, V. Rammed earth: design and construction guidelines. Watford: BRE Press, 2005.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. State of the Global Climate 2023. Geneva: WMO, 2023.