Artigo Científico

Revista sítio novo
Instituto Federal do Tocantins

Taipa de pilão: análise comparativa da granulometria e da resistência à compressão com aditivos químicos

https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.2122

Fernanda Fonseca de Melo Coelho[1]
Leandro Alves Evangelista[2]
Vinícius Dutra Tomaz[3]

Data de submissão concluída: 1º/4/2026. Data de aprovação: 15/9/2026. Data de publicação: 16/11/2026.

Resumo – O objetivo deste estudo foi (i) analisar comparativamente a caracterização granulométrica do solo obtida por meio de ensaios de peneiramento em laboratório e de sedimentação em campo, verificando a precisão e a confiabilidade do método empírico e (ii) investigar a influência de diferentes aditivos químicos na resistência à compressão axial do solo compactado. Para a análise granulométrica, adotaram-se os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 7181 (2025), utilizando-se a ABNT NBR 6502 (2022) e o *Unified Soil Classification System* (USCS) como referência para a classificação e os limites granulométricos. Para a avaliação da resistência à compressão axial, empregaram-se os procedimentos descritos nas ABNT NBR 12024 (2012) e ABNT NBR 17014 (2022). Os resultados demonstraram a confiabilidade do ensaio de sedimentação na determinação da granulometria do solo. Nos ensaios de resistência à compressão axial, os corpos de prova com adição de 8% de cimento apresentaram o melhor desempenho, alcançando resistência característica estimada de 5,2 MPa. Conclui-se que o ensaio empírico de sedimentação constitui uma alternativa tecnicamente viável para a caracterização granulométrica em contextos de recursos limitados e que a estabilização do solo com 8% de cimento proporciona desempenho mecânico adequado para construções em taipa de pilão, contribuindo para ampliar a aplicação dessa técnica construtiva sustentável.
Palavras-chave: Arquitetura vernacular. Construção de terra. Resistência à compressão simples. Solo-cimento. Taipa de pilão.

Rammed earth: comparative analysis of particle size distribution and compressive strength with chemical additives

Abstract – The objective of this study was to: (i) comparatively analyze soil particle-size distribution obtained through laboratory sieving and field sedimentation tests, verifying the accuracy and reliability of the empirical method; and (ii) investigate the influence of different chemical additives on the axial compressive strength of compacted soil. For the particle-size analysis, procedures established by ABNT NBR 7181 (2025) were adopted, using ABNT NBR 6502 (2022) and the Unified Soil

[1] Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Campus Santa Luzia do Instituto Federal de Minas Gerais. Santa Luzia, Minas Gerais, Brasil. fernanda.coelho@ifmg.edu.br https://orcid.org/0000-0002-1178-4221 https://lattes.cnpq.br/4831205591892496.

[2] Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Campus Governador Valadares do Instituto Federal de Minas Gerais. Governador Valadares, Minas Gerais, Brasil. leandro.alves@ifmg.edu.br https://orcid.org/0000-0002-4276-3917 http://lattes.cnpq.br/2235047046973903.

[3] Arquiteto e Urbanista pelo Campus Santa Luzia do Instituto Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. viniciusdtomaz18@gmail.com https://orcid.org/0009-0004-9893-625X https://lattes.cnpq.br/2711369817726668.

Classification System (USCS) as references for classification and particle-size limits. To evaluate axial compressive strength, the procedures described in ABNT NBR 12024 (2012) and ABNT NBR 17014 (2022) were employed. The results demonstrated the reliability of the sedimentation test for determining soil particle-size distribution. In the axial compressive strength tests, specimens with the addition of 8% cement showed the best performance, achieving an estimated characteristic strength of 5.2 MPa. It is concluded that the empirical sedimentation test constitutes a technically viable alternative for particle-size characterization in resource-limited contexts and that soil stabilization with 8% cement provides adequate mechanical performance for rammed earth construction, contributing to the expanded application of this sustainable construction technique.
Keywords: Vernacular architecture. Earthen construction. Unconfined compressive strength. Soil-cement. Rammed earth.

Tapia pisada: análisis comparativo de la granulometría y de laresistencia a la compresión con aditivos químicos

Resumen – El objetivo de este estudio fue (i) analizar comparativamente la caracterización granulométrica del suelo obtenida mediante ensayos de tamizado de laboratorio y sedimentación de campo, verificando la exactitud y confiabilidad del método empírico e (ii) investigar la influencia de diferentes aditivos químicos en la resistencia a la compresión axial del suelo compactado. Para el análisis granulométrico, se adoptaron los procedimientos establecidos por ABNT NBR 7181 (2025), utilizando ABNT NBR 6502 (2022) y el Unified Soil Classification System (USCS) como referencia para la clasificación y los límites granulométricos. Para la evaluación de la resistencia a la compresión axial, se emplearon los procedimientos descritos en ABNT NBR 12024 (2012) y ABNT NBR 17014 (2022). Los resultados demostraron la confiabilidad del ensayo de sedimentación en la determinación de la granulometría del suelo. En los ensayos de resistencia a la compresión axial, las probetas com adición de 8% de cemento mostraron el mejor desempeño, alcanzando una resistencia característica estimada de 5,2 MPa. Se concluye que el ensayo empírico de sedimentación constituye una alternativa técnicamente viable para la caracterización granulométrica en contextos con recursos limitados y que la estabilización del suelo con un 8 % de cemento proporciona un rendimiento mecánico adecuado para construcciones en tapia pisada, contribuyendo a ampliar la aplicación de esta técnica constructiva sostenible.
Palabras clave: Arquitectura vernácula. Construcción con tierra. Resistencia a la compresión simple. Suelo-cemento. Tapia pisada.

Introdução

A arquitetura vernacular é caracterizada pelo uso de materiais locais e pela adaptação às condições ambientais, culturais e sociais de cada região, constituindo-se como uma expressão singular do saber construtivo ao longo da história. Nesse contexto, o emprego da terra como material de construção remonta a mais de cinco mil anos, evidenciando sua relevância histórica e sua continuidade como recurso essencial para a manutenção da vida (Minke, 2001 *apud* Pisani, 2004). Entre as técnicas tradicionais, destaca-se a taipa de pilão, que consiste na compactação do solo em moldes de madeira, denominados taipais, reduzindo o volume inicial do material em até um terço (Mendes; Bessa, 2022). A resistência final da estrutura está

diretamente associada ao grau de compactação aplicado durante o processo (Lima, 2018), além de aspectos relacionados às composições granulométricas e aditivos introduzidos na mistura. Na forma tradicional de construções em taipa, os aditivos mais comuns eram esterco animal, fibras vegetais, óleos e sangue de animais (Cunha Junior, 2010). Atualmente, a execução da técnica utiliza, frequentemente, equipamentos de compactação mecânica do solo e aditivos químicos, que tendem a aumentar a resistência à compressão e durabilidade da estrutura de taipa em relação à erosão pela água (Milani; Maia, 2018).

Embora não tenha sido popularmente difundida no Brasil (Rezende; Reis Lopes, 2022), a taipa de pilão desempenhou papel fundamental na formação do patrimônio arquitetônico nacional. Entretanto, a partir de meados do século XIX, com o apogeu do ciclo do café e a chegada de imigrantes europeus, consolidou-se a introdução da arquitetura em alvenaria de tijolos, o que resultou no progressivo abandono da técnica tradicional em terra (Eijk; Souza, 2006).

Nas últimas décadas, contudo, observa-se um renovado interesse pelas técnicas construtivas em terra, impulsionado pela busca por soluções sustentáveis e de menor impacto ambiental (Caldas; Martins; Toledo Filho, 2021). Estudos recentes indicam que edificações em taipa de pilão apresentam desempenho ambiental significativamente superior quando comparadas a sistemas convencionais. De acordo com Castilho, Luiz e Tamura (2024), construções em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos podem apresentar impactos ambientais até 68% superiores em relação às construções em taipa de pilão.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo contribuir para o aprimoramento e a democratização dos avanços técnicos da taipa de pilão, uma técnica construtiva tradicional amplamente utilizada em contextos populares e de habitação autoproduzida. Embora a recente normatização da taipa de pilão tenha introduzido parâmetros de desempenho, procedimentos de execução e métodos de ensaio laboratoriais rigorosos, esses recursos permanecem de difícil acesso para a população que historicamente domina esse saber construtivo. O desafio, portanto, consiste em aproximar o conhecimento técnico-normativo das práticas empíricas e comunitárias, promovendo a integração entre o saber tradicional e as exigências de desempenho contemporâneas.

Espera-se, com isso, fornecer subsídios técnicos que possibilitem a adoção de procedimentos simplificados e acessíveis em canteiros de obras, de modo a ampliar a aplicabilidade da taipa de pilão como alternativa viável, sustentável e socialmente inclusiva para a construção civil contemporânea.

Materiais e métodos

Materiais

No presente estudo, para os ensaios de sedimentação empírica e de resistência, utilizou-se o solo da região de Santa Luzia (MG), caracterizado como podzólico vermelho-amarelo (PDDI-RMBH, 2017) ou argissolo vermelho-amarelo, segundo a classificação atual (IBGE, 2007), sendo este um solo argiloso a partir do horizonte B: “[...] A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este” (Cline, 1949 *apud* Santos *et al.*, 2018, p. 86). Para a confecção de corpos de prova com os traços específicos propostos, utilizou-se cimento CP II F 32, cal hidratada comum CH III e areia. Os equipamentos utilizados nos ensaios foram: balança de precisão com capacidade de 10 kg/25 kg (e = 2 g/5 g), balança de precisão com capacidade de 0,5 g/3200 g (e = 0,1 g), proveta (250 mL), molde cilíndrico de Proctor

(Ø100,0 x 127 mm) com colarinho (Ø100,0 x 50 mm), extrator de corpos de prova, régua biselada, soquete, papel filtro e peneiras em inox (Ø 203 mm), com malhas de 4,75 e 0,075 mm. Os ensaios de compressão axial foram realizados em máquina universal hidráulica eletrônica digital Contenco, com capacidade nominal de 100 tf, calibrada conforme a ABNT NBR NM ISO 7500-1, Classe 1,0. A calibração do sistema foi realizada utilizando célula de carga Kratos, modelo CCK-100000, capacidade nominal de 100 tf, identificada como CF017, calibrada pelo laboratório Senai Cetec (CAL0045), com rastreabilidade à ABNT NBR ISO 376 (2011).

Métodos

A determinação da granulometria do solo por sedimentação foi realizada empiricamente com base na Lei de Stokes, que estabelece a relação entre o raio de uma partícula esférica e sua velocidade de queda em um fluido (Fox; Pritchard; McDonald, 2014). Dessa forma, partículas de maior diâmetro tendem a se depositar mais rapidamente no fundo da proveta, permitindo a aferição visual das quantidades de solo depositados de cada fração.

O ensaio de granulometria por peneiramento foi conduzido com o objetivo de proporcionar uma classificação mais abrangente dos solos, adotando-se o *Unified Soil Classification System* (USCS). Nesse sistema, os materiais são inicialmente classificados em solos grossos e finos, sendo considerados finos aqueles cujas partículas apresentam diâmetro inferior a 0,075 mm (siltes e argilas), enquanto a fração areia corresponde às partículas com diâmetro compreendido entre 0,075 mm e 4,75 mm. Cabe destacar que, na classificação estabelecida pela ABNT NBR 6502, a fração fina é composta por partículas com diâmetro inferior a 0,06 mm, enquanto a fração areia compreende partículas com diâmetro entre 0,06 mm e 2,00 mm.

Para a avaliação da resistência à compressão axial, foram moldados corpos de prova cilíndricos conforme os procedimentos da ABNT NBR 12024 (2012), que estabelece as diretrizes de moldagem e cura de corpos de prova em solo-cimento, e da ABNT NBR 17014 (2022), a qual dispõe sobre os requisitos, procedimentos e controles aplicáveis a construções em taipa de pilão. O ensaio de ruptura e a análise dos resultados seguiram igualmente a ABNT NBR 17014 (2022), que define o valor mínimo individual de resistência à compressão simples (fc) ≥ 1,3 MPa.

Granulometria

O ensaio granulométrico, utilizado para determinar a distribuição do tamanho das partículas do solo, apresenta relevância significativa na construção em taipa, uma vez que a proporção ideal entre areia e a fração fina do solo deve ser de aproximadamente 30-80% e 5-35%, respectivamente (Petcu *et al.*, 2023). Quando a composição do solo se desvia desses valores, torna-se necessária a correção da mistura por meio da adição de areia, a fim de garantir a adequação do material às exigências construtivas.

Na etapa inicial realizou-se uma análise comparativa entre métodos de determinação da granulometria do solo, motivada pelas limitações frequentemente observadas em construções situadas em regiões remotas, ou de caráter social, onde a execução de ensaios com peneiras normativas pode ser comprometida por restrições logísticas, operacionais e econômicas. A investigação avaliou a precisão do ensaio granulométrico empírico realizado por sedimentação em relação aos métodos normativos, proporcionando subsídios para a validação de técnicas alternativas viáveis em campo e contribuindo para a confiabilidade na caracterização granulométrica de solos em situações de recursos restritos. As frações de solos

adotadas posteriormente, para a preparação dos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão simples, foram baseados nos resultados do método de análise granulométrica normatizado pela ABNT NBR 7181, por se tratar de um ensaio mais preciso.

Ensaio empírico por sedimentação

Para a execução do ensaio, a amostra de solo natural foi inicialmente peneirada em uma peneira de uso comum em canteiro de obras, com malha nº 8 (abertura aproximada de 2,36 mm), com o objetivo de separar a fração fina e arenosa da porção pedregosa. O material retido na peneira foi descartado, enquanto a fração passante foi submetida a um processo de desagregação em almofariz com mão de gral, conforme ilustrado na figura 1. Essa etapa teve como finalidade desagregar os torrões formados pela umidade e restituir os grãos ao seu tamanho original. Em seguida, uma porção da amostra desagregada foi introduzida em uma proveta de 250 mL contendo água. A mistura solo-água foi então agitada e colocada em repouso para iniciar o processo de sedimentação, permanecendo nessa condição por seis dias.

Figura 1 - Desagregação da amostra de solo



Fonte: acervo pessoal (2023)

O ensaio de sedimentação fundamenta-se na Lei de Stokes, segundo a qual a velocidade terminal de uma partícula esférica em queda em um fluido é proporcionalmente quadrática ao seu raio (Fox; Pritchard; McDonald, 2014). Conforme a lei, partículas com maior diâmetro apresentam maior velocidade de sedimentação, depositando-se mais rapidamente no fundo do recipiente, enquanto as partículas mais finas permanecem em suspensão por mais tempo, o que permite separação granulométrica das partículas.

Decorrido o período de repouso, observa-se a separação entre a fração arenosa e a fração fina do solo, conforme a figura 2. A partir das marcações de volume do recipiente, foi possível determinar de forma empírica a proporção entre essas duas frações. Verificou-se que a amostra apresenta predominância de material fino, correspondendo a aproximadamente 63,64% do volume total, enquanto a fração arenosa representa cerca de 36,36%.

Figura 2 - Amostra de solo sedimentada



Fonte: acervo pessoal (2023)

Para o cálculo do volume de areia para a correção do solo, considerando que a proporção ideal para construções em taipa de pilão é de 3:7 (material fino: areia), supondo uma amostra de 100 g, tem-se:
$m_{fração\ fina}$: 63,64 g
m_{areia}: 36,36 g
m_{total}: 100 + X

Considerando que a porcentagem da fração fina após a adição de areia deve ser de 30%, considera-se a equação 1:

$$\frac{63,64}{100+x} = 0,30$$

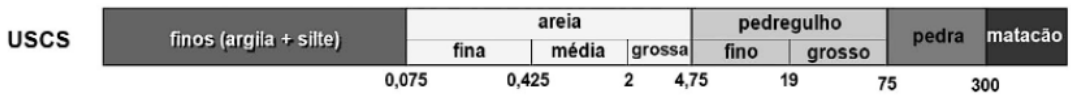
Eq. 1

A resolução da equação resulta em x ≈ 112,13 g. Assim, para cada 100 g de solo, torna-se necessário adicionar aproximadamente 112,13 g de areia, correspondendo a 112,13% da massa original do solo, de modo a garantir a correção adequada da composição granulométrica.

Ensaio de granulometria por peneiramento

Com o intuito de obter maior precisão na determinação da granulometria e da proporção entre a fração fina do solo e areia, bem como de verificar a confiabilidade do procedimento empírico apresentado no item anterior, a amostra de solo foi submetida ao ensaio de peneiramento, tendo como referência a ABNT NBR 7181 (2025) e ABNT NBR 6502 (2022). De acordo com a norma, classificam-se como argila as partículas com diâmetro inferior a 0,002 mm; como silte aquelas entre 0,002 mm e 0,06 mm; e como areia as que apresentam diâmetro entre 0,06 mm e 2 mm. Devido a uma limitação metodológica, adotou-se o sistema USCS (*Unified Soil Classification System*) para determinação dos limites de classificação, no qual silte e argila são agrupados como materiais finos (diâmetro inferior a 0,075 mm), enquanto a areia é classificada no intervalo de 0,075 mm a 4,75 mm, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3 - Classificação granulométrica na USCS



Fonte: Suporte (s. d.)

A análise granulométrica baseou-se nas prescrições da ABNT NBR 7181, que estabelece as diretrizes para o ensaio. Contudo, cabe ressaltar que não era o objetivo do estudo realizar uma completa distribuição granulométrica do solo. Para a pesquisa, bastava apenas os percentuais de materiais finos e areia presentes na amostra utilizada.

Dessa forma, a amostra de solo foi inicialmente submetida a um processo de desagregação, a fim de eliminar aglomerações de partículas decorrentes da umidade. Em seguida, foi separada uma alíquota de 300,07 g. O material foi peneirado em malha de 4,75 mm, limite da areia conforme classificação USCS, sendo a fração retida classificada como pedregulho. A massa dessa fração correspondeu a 22,52 g (figura 4), equivalente a 7,5% da massa total da amostra.

Figura 4 - Massa de pedregulho presente na amostra



Fonte: acervo pessoal (2023)

Conforme as prescrições normativas, a fração passante na peneira de 4,75 mm, com massa de 277,55 g, foi peneirada em malha de 0,075 mm utilizando lavagem de água a baixa pressão. O material retido foi submetido a secagem em estufa a 110 °C, por um período suficiente para garantir que o material estivesse totalmente seco (figura 5).

Figura 5 - Porções de areia e material fino presentes na amostra dentro da estufa



Fonte: acervo pessoal (2023)

Concluído o processo de secagem, as amostras foram retiradas da estufa e submetidas a pesagem. A fração arenosa apresentou massa de 108,99 g, correspondente a 36,32% da massa total da amostra. A fração fina, separada na etapa de lavagem, apresentou massa de 168,56 g, equivalente a 56,17% da massa da amostra. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 1.

Com base nos percentuais das frações fina e arenosa, o ensaio foi encerrado, não sendo realizado o peneiramento nas demais peneiras, conforme previsto na norma.

Tabela 1 - Classificação granulométrica do solo

Classificação	Massa (g)	% da amostra total
Pedregulho	22,52	7,5
Areia	108,99	36,32
Material fino	168,56	56,17

Fonte: autor (2025)

Considerando que, no ensaio de sedimentação, a fração retida na peneira inicial foi descartada e, portanto, não incluída no cálculo de correção com areia, adota-se como volume total (100%) apenas a fração passante na malha de 4,75 mm. Dessa forma, tem-se:

m_{total} = 277,55 g
m_{areia} = 108,99 g (39,27%)
$m_{mat.fino}$ = 168,56 g (60,73%)

Para o cálculo do volume de areia para a correção do solo, considerando que a proporção ideal para construções em taipa de pilão é de 3:7 (material fino: areia), supondo uma amostra de 100 g, tem-se:

$M_{fração\ fina}$: 60,73 g
m_{areia}: 36,32 g
m_{total}: 100 + X

Considerando que a porcentagem de fração fina após a adição de areia deve ser de 30%, considera-se a equação 2:

$$\frac{60,73}{100+x} = 0,30$$

Eq. 2

A resolução da equação resulta em x ≈ 102,43 g. Assim, para cada 100 g de solo, torna-se necessário adicionar aproximadamente 102,43 de areia, correspondendo a 102,43% da massa original do solo, de modo a garantir a correção adequada da composição granulométrica.

Resistência à compressão simples

Moldagem de corpos de prova cilíndricos

Com a finalidade de avaliar o aditivo mais adequado e seu respectivo traço na mistura, foram moldados 12 corpos de prova a partir da amostra de solo. O cimento e a cal são, na atualidade, os aditivos mais utilizados em taipa de pilão (Arrigoni *et al.*, 2017; Barros, Marson, 2022), sendo o teor uma variável importante para que a taipa atinja os parâmetros estabelecidos em norma. Bessa e Mendes (2022) indicam que "o teor de cimento recomendado para a estabilização varia, geralmente, entre 6% e 10% do peso total da mistura [...]". Portanto, foi considerado um grupo de controle contendo apenas a correção com areia, bem como grupos com adição de cal (5% da massa total), cimento (8% da massa total) e da combinação de cal e cimento (4% da massa total em cada aditivo). Todos os corpos de prova foram moldados com o solo corrigido com areia (conforme proporção resultante do ensaio mais preciso,

apresentado no item “Ensaio de granulometria por peneiramento” deste artigo). Para cada grupo, foram moldados três corpos de prova, levando em consideração o fator de incerteza (φ), determinado pela Tabela C.1 do Anexo C da ABNT NBR 17014 (2022). Os corpos de prova apresentavam 127,3 mm de altura, e 7.850,00 mm² de área da base. O detalhamento referente aos aditivos, traços empregados e nomenclatura atribuída a cada corpo de prova encontra-se descrito na tabela 2.

Tabela 2 - Grupos de corpos de prova cilíndricos

Solo + Areia	% de aditivo	Solo corrigido com areia		
	Código dos corpos de prova	T2-01	T2-02	T2-03
	Data da moldagem	4/8/2023		
Solo + Areia + Cal	% de aditivo adicionado	Cal (5%)		
	Código dos corpos de prova	CA2-01	CA2-02	CA2-03
	Data da moldagem	4/8/2023		
Solo + Areia + Cimento	% de aditivo adicionado	Cimento (8%)		
	Código dos corpos de prova	CI2-01	CI2-02	CI2-03
	Data da moldagem	9/8/2023		
Solo + Areia + Cimento + Cal	% de aditivo adicionado	Cimento (4%) + Cal (4%)		
	Código dos corpos de prova	CC2-01	CC2-02	CC2-03
	Data da moldagem	9/8/2023		

Fonte: autor (2025)

Para cada grupo de três corpos de prova, foi preparada uma mistura com massa total de 6 kg, como se observa para uma das amostras na figura 6. Todas as misturas foram umedecidas com água, nas proporções indicadas na tabela 3. Neste estudo, o teor de umidade não foi determinado, considerando que, em condições práticas de canteiro de obras, a quantidade de água adicionada é frequentemente definida de forma empírica, por avaliação visual, sendo considerado ideal quando a massa atinge consistência homogênea, como uma “farofa” úmida, atingindo o ponto de formar um elemento monolítico com as mãos, quando comprimido (Ferreira, 2018).

Tabela 3 - Volume de água adicionado

Volume de água para cada kg de mistura de terra	124mL

Fonte: autor (2023)

Figura 6 - Mistura de solo corrigido com areia e cimento



Fonte: autor (2023)

Procedeu-se à moldagem dos corpos de prova cilíndricos em conformidade com os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 12024 (2012), conforme indicado pela ABNT NBR 17014 (2022). Para tal, utilizou-se o cilindro de Proctor, com base e colarinho, soquete destinado à compactação do material, papel filtro posicionado no fundo do cilindro, régua de aço biselada e rígida, além de extrator de corpos de prova. O procedimento de extração dos corpos de prova do cilindro de Proctor encontra-se ilustrado na figura 7.

Figura 7 - Processo de extração do corpo de prova cilíndrico do cilindro de Proctor, com o auxílio de um extrator



Fonte: autor (2023)

Os corpos de prova moldados foram armazenados em bandejas metálicas para o processo de secagem (figura 8). Conforme o item 5.4.3 da ABNT NBR 17014 (2022), estabelece-se o período mínimo de 7 dias para a cura das peças. Entretanto, em atendimento ao item 5.4.4 da mesma norma, para misturas contendo estabilizantes, adotou-se o período mínimo de 28 dias de secagem antes da aplicação de esforços. Assim, os ensaios de resistência à compressão foram programados para ocorrer após 28 dias de cura, contudo, em razão de problemas operacionais na prensa utilizada para os ensaios, a realização do ensaio foi adiada, sendo executada somente 9 meses após a moldagem dos corpos de prova.

Figura 8 - Corpos de prova moldados, em processo de secagem



Fonte: autor (2023)

Rompimento dos corpos de prova

Após o processo de secagem, aferiu-se que os corpos de prova não apresentavam fissuras, estavam secos ao toque e, além disso, foram devidamente identificados; com isso, o processo de rompimento foi realizado no dia 21 de maio de 2024, conforme procedimento estabelecido na ABNT NBR 17014 (2022). Os corpos

de prova foram locados, um por vez, na máquina universal hidráulica eletrônica digital Contenco, com capacidade nominal de 100 tf, calibrada conforme a ABNT NBR NM ISO 7500-1, Classe 1,0. A calibração do sistema foi realizada utilizando célula de carga Kratos, modelo CCK-100000, capacidade nominal de 100 tf, identificada como CF017, calibrada pelo laboratório Senai Cetec (CAL0045), com rastreabilidade à ABNT NBR ISO 376 (2011), com o seu centro de gravidade no eixo da aplicação da carga. O ensaio foi executado com o carregamento contínuo, e com velocidade constante e à razão de (0,30 ± 0,06) MPa/min, até a ruptura do corpo de prova cilíndrico, conforme especificado no item C.5 do Anexo C da ABNT NBR 17014 (2022).

Figura 9 - Rompimento do corpo de prova “CI02-03”



Fonte: autor (2024)

Resultados e discussões

Caracterização quanto a granulometria

Dados os processos e análises expressos nos itens “Ensaio empírico por sedimentação” e “Ensaio de granulometria por peneiramento”, tem-se os resultados da caracterização granulométrica expressos na tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo da caracterização granulométrica do solo em ensaio de sedimentação e ensaio de peneiramento

	Ensaio de sedimentação	**Ensaio de peneiramento**
	% na amostra	
Areia	36,36	39,27
Material fino	63,64	60,73
Correção em areia (% da massa inicial de solo)	112,13	102,43

Fonte: autor (2025)

A análise dos resultados possibilita verificar um solo mais arenoso, segundo o ensaio de peneiramento, apresentando uma diferença de 2,91 pontos percentuais. A diferença percentual entre os resultados referentes à proporção de areia no solo é dada pela equação 3.

$$\frac{39,27 - 36,36}{36,36} \times 100$$

Eq. 3

Portanto, a diferença percentual entre resultados é de 8% a mais no ensaio de peneiramento, referente a proporção de areia no solo. Em relação a proporção de materiais finos nos dois ensaios, a diferença percentual é expressa pela equação 4.

$$\frac{63,64 - 60,73}{63,64} \times 100$$

Eq. 4

Dessa forma, a diferença percentual observada entre os resultados foi de 4,57% menor no ensaio de peneiramento em relação à proporção de materiais finos no solo. Considerando a inexistência de um critério padronizado explícito de tolerância percentual para divergências entre ensaios de solo, adotou-se o limite prático de 10%, comumente aceito em ensaios de materiais de construção. Com base nesse parâmetro, as diferenças de 8% e 4,57% encontram-se dentro do limite considerado aceitável, o que permite concluir que o ensaio empírico por sedimentação apresenta eficácia compatível com o ensaio de peneiramento.

Caracterização quanto a compressão axial

A carga de ruptura de cada corpo de prova foi anotada para posterior análise dos resultados. Um total de 7 corpos de prova atingiu resultados de resistência iguais ou superiores a 1,3 MPa, valor mínimo exigido pelo item 4.2.2 da ABNT NBR 17014 (2022). Pelo item C.6, o valor individual de resistência a compressão simples (Fc, expresso em MPa) de cada corpo de prova cilíndrico é expresso pela equação 5, em que F_{rup} é a carga de ruptura, expressa em newtons (N), e A_{rup} é a área da seção transversal do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm²).

$$f_c = \frac{F_{rup}}{A_{rup}}$$

Eq. 5

Para a determinação do valor característico estimado de resistência à compressão simples (fck,est, expresso em MPa), tem-se a equação 6, baseada na ABNT NBR 16868-3 (2020), em que Fc1 é o menor valor individual de resistência à compressão simples dos corpos de prova da amostra, expresso em megapascals (MPa), com precisão de uma casa decimal; e φ é o fator de incerteza, em função da quantidade de corpos de prova da amostra (n), conforme mostrado na tabela 5.

$$f_{ck,est} = \phi \times f_{c1}$$

Eq. 6

Tabela 5 - Valores de ϕ em função da quantidade de corpos de prova da amostra

Número de corpos de prova (n)	ϕ
3	0,80
4	0,84
5	0,87

Fonte: ABNT NBR 17014 (2022)

Os grupos formados apenas por solo, com correção em areia, apresentaram resultados inferiores ao valor mínimo de resistência estabelecido em norma (1,3 Mpa), conforme demonstrado na tabela 6. Dessa forma, constata-se que, para a execução da taipa de pilão, torna-se recomendável a utilização de estabilizantes químicos como forma de tornar o solo mais apropriado para construções (Bessa *et al.*, 2023), não

tendo sido realizados, neste estudo, ensaios com estabilizantes físicos, como fibras vegetais. Entre os grupos analisados, os que apresentaram melhor desempenho foram aqueles com adição de cimento, no traço de 8% em relação à massa de solo, identificados pela nomenclatura inicial “CI”. Para o grupo controle composto por solo + areia + cimento, a resistência característica estimada foi de 5,2 MPa, valor aproximadamente 300% superior ao mínimo estabelecido pela ABNT NBR 17014 (2022). Ressalta-se, contudo, que os elevados valores de resistência observados, superiores aos parâmetros normativos mínimos, podem estar correlacionados ao período prolongado de secagem dos corpos de prova prévio aos ensaios, visto que a flutuação do teor de umidade impacta diretamente o comportamento mecânico do compósito. Ademais, a variável temporal exerce influência determinante sobre a resistência característica. Conforme apontado por Ferreira (2018), amostras moldadas com teores de cimento compreendidos entre 5% e 10% da massa total atingem resistências médias de 1,8 MPa aos 7 dias de cura, 1,4 MPa aos 14 dias e 2,3 MPa aos 28 dias. Destaca-se que a resistência obtida pelos corpos de prova do tipo “CI2” (5,2 MPa) aproxima-se da resistência característica de blocos cerâmicos estruturais produzidos industrialmente e submetidos a processos de queima, cujo valor médio é de 7,10 MPa (Dutra; Guzzo; Soares, 2019).

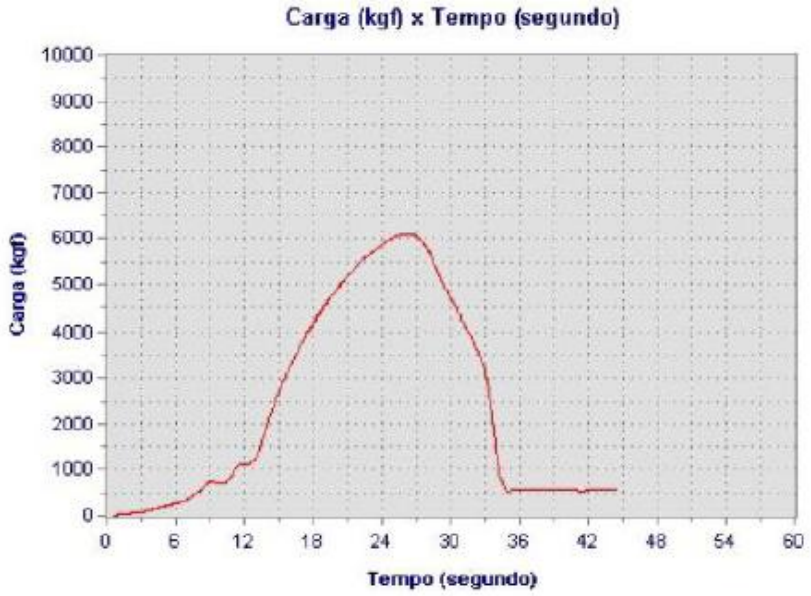
Tabela 6 - Resultados individuais do ensaio de resistência a compressão axial simples

Solo + Areia	% de aditivo	Solo corrigido com areia		
	Código dos corpos de prova	T2-01	T2-02	T2-03
	Data da moldagem	4/8/2023		
	Carga de ruptura [N]	4.511,06	10.100,90	9.316,32
	Resistência (fc) [MPa]	0,6	1,3	1,2
	Resistência Característica Estimada (fck,est) [MPa]	**0,5**		
Solo + Areia + Cal	% de aditivo	Cal 1:20 (5%)		
	Código dos corpos de prova	CA2-01	CA2-02	CA2-03
	Data da moldagem	4/8/2023		
	Carga de ruptura [N]	7.451,05	7.453,05	4.020,73
	Resistência (fc) [MPa]	0,9	0,9	0,5
	Resistência Característica Estimada (fck,est) [MPa]	**0,4**		
Solo + Areia + Cimento	% de aditivo	Cimento 1:12,5 (8%)		
	Código dos corpos de prova	CI2-01	CI2-02	CI2-03
	Data da moldagem	9/8/2023		
	Carga de ruptura [N]	55.309,51	59.722,50	50.798,45
	Resistência (fc) [MPa]	7,0	7,6	6,5
	Resistência Característica Estimada (fck,est) [MPa]	**5,2**		
Solo + Areia + Cimento + Cal	% de aditivo	Cimento 1:25 (4%) + Cal 1:25 (4%)		
	Código dos corpos de prova	CC2-01	CC2-02	CC2-03
	Data da moldagem	9/8/2023		
	Carga de ruptura [N]	34.617,50	30.596,80	31.185,20
	Resistência (fc) [MPa]	4,4	3,9	4,0
	Resistência Característica Estimada (fck,est) [MPa]	**3,1**		

Fonte: autor (2025)

A resistência característica estimada para a mistura de solo-cal apresentou valores inferiores aos limites normativos estabelecidos. Constatou-se que o teor correspondente ao traço de 1:20 foi insuficiente para atingir o desempenho mecânico requerido. Apesar de ainda existirem poucos estudos com uma proporção acima de 10% de adição de cal (Bessa; Lage; Santos, 2024), a literatura sugere um traço mínimo de 1:8, o qual, após o período de cura de 28 dias, atinge a resistência à compressão de 1,45 MPa (Almeida *et al.*, 2016). O corpo de prova que obteve o melhor resultado foi o "CI02-02", alcançando uma carga máxima de 58.722,50 N, cerca de 5.988,03 kgf, totalizando uma resistência individual de 7,6 MPa, valor superior à média de resistência de blocos cerâmicos estruturais apresentada anteriormente. O gráfico de ruptura desse corpo de prova é apresentado a seguir.

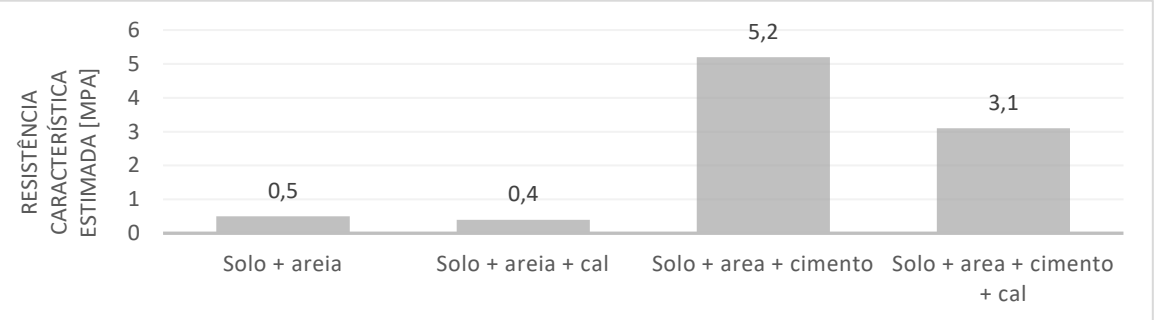
Gráfico 1 - Gráfico de rompimento do corpo de prova "CI02-02"



Fonte: autor (2024)

Todos os resultados de resistência característica estimada (fck,est, expresso em MPa) foram representados no gráfico 2.

Gráfico 2 - Gráfico de resistência característica estimada dos grupos controle de CP



Fonte: autor (2024)

Considerações finais

O presente estudo investigou a granulometria e a resistência de solos destinados à construção em taipa de pilão, comparando métodos empíricos e

normativos de caracterização e avaliando o efeito de diferentes estabilizantes químicos. Os resultados indicam que o ensaio por sedimentação apresentou eficácia na estimativa da fração de materiais finos, com diferença inferior a 10% em relação ao ensaio de peneiramento. Dessa forma, o método empírico mostrou-se uma alternativa viável para aplicações em campo, especialmente em locais remotos onde a realização do ensaio normativo é limitada.

No que se refere a resistência à compressão axial, os grupos compostos apenas pela correção do solo com areia apresentaram valores inferiores ao mínimo estabelecido em norma (ABNT NBR 17014, 2022), evidenciando a necessidade do uso de estabilizantes químicos na execução de taipa de pilão. Entre os aditivos testados, a adição de cimento, no traço de 8% em relação à massa de solo, proporcionou o melhor desempenho, com resistência característica estimada de 5,2 Mpa. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios de compressão utilizando os mesmos traços empregados neste estudo, respeitando o período de secagem estabelecido pela ABNT NBR 17014 (2022), a fim de avaliar a influência do tempo de secagem na resistência mecânica da taipa de pilão.

Os resultados reforçam a relevância da seleção adequada de aditivos e do controle da granulometria para garantir a durabilidade e a segurança das construções em taipa de pilão. A metodologia adotada possibilita a simulação de condições reais de obra, fornecendo parâmetros confiáveis para a proporção de materiais e o traço de estabilizantes. Este estudo não considerou a utilização de estabilizantes físicos, como fibras vegetais, nem avaliou o comportamento estrutural das construções ao longo do tempo, o que limita a generalização dos resultados.

Recomenda-se que estudos futuros investiguem a combinação de diferentes estabilizantes, tanto químicos quanto físicos, bem como a influência das variações granulométricas do solo na resistência mecânica e na durabilidade de estruturas em taipa de pilão. Além disso, ensaios de longo prazo poderão fornecer informações complementares sobre o desempenho estrutural dessas construções ao longo do tempo.

Referências

ALMEIDA, T. S.; FEITOSA, A. O.; SOBRINHO JÚNIOR, A. S.; NOGUEIRA, J. C. A.; SILVA, V. R. da. Construções com solo-cal: considerações sobre transferência de tecnologia a uma comunidade na cidade de João Pessoa. **Inter Scientia**, v. 4, n. 2, 2016.

ARRIGONI, A.; BECKETT, C.; CIANCIO, D.; DOTELLI, G. Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth. **Construction and Building Materials**, [*S. l.*], v. 142, p. 128-136, 1 jul. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISSO 376:** Materiais metálicos - Calibração de instrumentos de medição de força utilizados para a verificação de máquinas de ensaios uniaxiais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM ISO 7500-1**: Materiais metálicos — Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial — Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/compressão — Calibração e verificação do sistema de medição de força. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12024**: solo: cimento: moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-3**: alvenaria estrutural: parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17014**: taipa de pilão: requisitos, procedimentos e controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181**: solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

BARROS, V. S. N.; MARSON, N. A. M. Implantação da taipa de pilão como sistema de construção alternativa, quanto ao seu impacto ambiental. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e536111335782, 2022. (CC BY 4.0). ISSN 2525-3409.

BESSA, S. A. L.; GALÉRY, R.; LAGE, G. T. L.; MATIAS, L. M.; SANTOS, B. F. A. Potencial de estabilização da taipa de pilão com rejeitos de mineração e cal. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, 8., p. 1-6, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: Unila, 2023.

BESSA, S. A. L.; LAGE, G. T. L.; SANTOS, B. F. A. Estabilização da taipa de pilão com cal: análise da literatura. *In*: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO (ENSUS), 12., 7-9 ago. 2024, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: UFMG; UFSC, 2024.

BESSA, S. A. L.; MENDES, L. C. F. Análise da evolução tecnológica da taipa de pilão contemporânea. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 66-77, jan. 2022. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2022.v8.n1.66-77.

CALDAS, L. R.; MARTINS, A. P. S.; TOLEDO FILHO, R. D. Construção com terra no Brasil: avaliação ambiental da taipa de pilão. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 12, 2021.

CASTILHO, B. C.; LUIZ, A. M. F.; TAMURA, S. H. L. P. S. Perfil ambiental de edificações com os sistemas construtivos em alvenaria estrutural e em taipa de pilão. ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO (ENSUS), 12., 2024, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2024.

CASTRO, M. L. A. C.; REZENDE, M. A. P.; ROCHA, G. F.; LAGE, G. T. L. Taipa de pilão: uma jornada evolutiva na história da construção do Brasil. **Caderno Pedagógico**, [*S. l.*], v. 20, n. 5, p. 1156-1178, 2023. DOI: 10.54033/cadpedv20n5-008.

CUNHA JUNIOR, H. **Tecnologia africana na formação brasileira**. Rio de Janeiro: Ceap, 2010.

DUTRA, P. R.; GUZZO, E.; SOARES, G. F. P. Estudo sobre a viabilidade da utilização de areia industrial em substituição à areia natural para a confecção de argamassas para alvenaria estrutural cerâmica. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, 6., n. 1, p. 228-238, 2019, Belém. **Anais** [...]. Belém: UFPA, 2019.

EIJK, D. van; SOUZA, V. C. M. Surgimento, desenvolvimento e desaparecimento da técnica taipa de pilão no Brasil. **Conservar Património**, n. 3-4, p. 17-24, dez. 2006.

FERREIRA, M. C. L. **Ensaio de viabilidade construtiva de muro pelo processo associado da taipa de pilão com solo-cimento**. Trabalho de conclusão de curso – Instituto Federal de Minas Gerais, 2018.

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; McDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4).

LIMA, P. **O uso da taipa de pilão na arquitetura contemporânea como bioconstrução**. 2018. 198 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Paulista, São Paulo, 2018.

MENDES, L. C. F.; BESSA, S. A. L. Análise da evolução tecnológica da taipa de pilão contemporânea. **MIX Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 66-77, 2022.

MILANI, A. P. S.; MAIA, M. M. Uso de aditivos químicos para redução de energia de compactação na execução de taipa de pilão. *In*: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL: território e trabalho – a produção da arquitetura com terra no Brasil, 7., 2018, p. 68-74, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: TerraBrasil, 2018.

PETCU, C.; DOBRESCU, C. F.; DRAGOMIR, C. S.; CIOBANU, A. A.; LĂZĂRESCU, A. V.; HEGYI, A. Thermophysical Characteristics of Clay for Efficient Rammed Earth Wall Construction. **Materials (Basel)**, v. 16, n. 17:6015, 1 set. 2023. DOI: 10.3390/ma16176015.

PISANI, M. A. J. Taipas: a arquitetura de terra. **Sinergia**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 9-15, jan./jun. 2004.

Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado – PDDI-RMBH. **Bases cartográficas**. 2017. [*s. n.*], [n. d.].

REZENDE, M.; A. P. REIS LOPES, W. G. Arquitetura e construção vernácula com terra no Brasil. In: NEVES, C. *et al.* **Arquitetura e construção com terra no Brasil.** Tupã: ANAP, 2022. p. 27-35.

SANTOS, H. G. *et al*. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

Informações complementares

Descrição		Declaração
Financiamento		Não se aplica.
Aprovação ética		Não se aplica.
Conflito de interesses		Não há.
Disponibilidade dos dados de pesquisa subjacentes		O trabalho não é um *preprint* e os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos neste artigo.
Uso de Inteligência Artificial		Não há.
CrediT	Fernanda Fonseca de Melo Coelho	Funções: metodologia, conceitualização supervisão, validação, escrita-revisão e edição.
	Leandro Alves Evangelista	Funções: metodologia, conceitualização supervisão, validação, investigação, escrita-revisão e edição.
	Vinícius Dutra Tomaz	Funções: conceitualização, administração do projeto, investigação, visualização, escrita – rascunho original.

Avaliadores: Os avaliadores optaram pela avaliação fechada e pelo anonimato.
Revisora do texto em português: Jéssica Rejane Lima.
Revisora do texto em inglês: Patrícia Luciano de Farias Teixeira Vidal.
Revisora do texto em espanhol: Graziani França Claudino de Anicézio.

Como citar (ABNT):
COELHO, Fernanda Fonseca de Melo; EVANGELISTA, Leandro Alves; TOMAZ, Vinícius Dutra. Taipa de pilão: análise comparativa da granulometria e da resistência à compressão com aditivos químicos. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, p. e2122, 2026. DOI: 10.47236/2594-7036.2026.v10.2122. Disponível em: https://sitionovo.ifto.edu.br/index.php/sitionovo/article/view/2122.