

## Estudo de Viabilidade Técnica de Solos para Paredes em Taipa de Pilão *Soils Technical Feasibility Study for Walls in Rammed Earth*

**Anderson Renato Vobornik Wolenski, Doutor em Engenharia de Estruturas, Professor do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)**

[anderson.wolenski@ifsc.edu.br](mailto:anderson.wolenski@ifsc.edu.br)

**Andreza Frare, Mestra em Engenharia Civil, Professora do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)**

[andreza.frare@ifsc.edu.br](mailto:andreza.frare@ifsc.edu.br)

**José Eduardo Mendes de Lima, Mestrando em Engenharia Civil, Professor do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)**

[jose.mendes@ifsc.edu.br](mailto:jose.mendes@ifsc.edu.br)

**Emilia Teixeira Poltronieri, Graduanda de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).**

[emilia.tp@aluno.ifsc.edu.br](mailto:emilia.tp@aluno.ifsc.edu.br)

**Thomas Camponogara Aires da Silva, Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).**

[thomas.ca2002@aluno.ifsc.edu.br](mailto:thomas.ca2002@aluno.ifsc.edu.br)

### Resumo

Edificações sustentáveis permeiam temáticas que usam métodos construtivos associados a materiais e tecnologias inovadoras. A busca destes temas visa romper o paradigma da construção civil que visualiza, nos materiais não renováveis, a única forma exitosa em uma edificação. Como destaque, a taipa de pilão possibilita construções mais sustentáveis, com menor consumo energético e conforto termo-acústico ideais, dentre outros avanços recentes, o que inclui a ABNT NBR 17014 [1], que traz consigo grande expectativa para expansão deste sistema construtivo. Neste contexto, o presente artigo buscou caracterizar dois solos do município de Palmeiras das Missões-RS, para fins de execução de paredes experimentais e autoportantes com o sistema construtivo em taipa de pilão, com o objetivo de conceber edificações mais sustentáveis, saudáveis e acessíveis, técnica e economicamente.

**Palavras-chave:** Palmeiras das Missões-RS; Terra; Sustentabilidade; Sistema Autoportante.

### Abstract

*Sustainable buildings permeate themes that use construction methods associated with innovative materials and technologies. The search for these themes aims to break the civil construction paradigm that sees non-renewable materials as the only successful form in a building. As a highlight, rammed earth enables more sustainable constructions, with lower energy consumption and ideal thermoacoustic comfort, among other recent advances, which includes the ABNT NBR 17014 [1], which brings with it great expectations for expansion of this construction system. In this context, this article sought to characterize two soils in the municipality of Palmeiras das Missões-RS, for the purpose of implementing experimental and self-supporting walls using the rammed earth, with the aim of designing more sustainable, healthy and accessible buildings, technically and economically.*

**Keywords:** *Palmeiras das Missões-RS; Earth; Sustainability; Self-supporting System.*

## 1. Introdução

O setor da construção civil desempenha um papel importante no desenvolvimento socioeconômico, mas também é reconhecido como um dos principais contribuintes para o impacto ambiental global. Um dos aspectos abordados em [2] é o uso significativo de recursos naturais como matéria-prima e o consumo substancial de energia na cadeia produtiva, em especial, na transformação e transporte dos materiais adotados.

A integração da terra como componente construtivo promove mudanças significativas, tornando a cadeia produtiva da construção civil mais sustentável, orgânica, saudável e economicamente acessível. Essas mudanças são evidentes ao considerar as técnicas que empregam o compósito solo-cimento como principal material constituinte em uma edificação. Essas técnicas compartilham a característica de minimizar os impactos ambientais negativos, quando comparadas aos insumos tradicionais e não renováveis, como o cimento e o aço, que se destacam como significativos emissores de CO<sub>2</sub>, contribuindo substancialmente para o efeito estufa [3].

Neste cenário, o uso da terra é relevante por ser *in natura* e amplamente disponível, e por apresentar propriedades favoráveis como as higrotérmicas, acústicas, de resistência ao fogo, atoxicidade e capacidade de reciclagem ao final de sua vida útil [4].

Entre os sistemas construtivos com terra disponíveis, os mais comuns no Brasil atualmente, tanto para novas construções quanto para restaurações, incluem os blocos de adobe, os blocos de solo-cimento comprimidos, a técnica de taipa de mão (pau-a-pique) e a taipa de pilão. Historicamente, a taipa foi amplamente adotada no período colonial no Brasil [5]. Contudo, de acordo com uma pesquisa conduzida por Pinheiro [6], a taipa de pilão tem sido a preferência predominante. Wolenski [7] afirmam, por sua vez, ser essencial o desenvolvimento de pesquisas que viabilizem o uso do solo como um material inovador dentro de um processo construtivo capaz de contribuir para uma construção civil mais eficiente, energética e economicamente, e que amplie o campo de atuação de profissionais que buscam inovar, de modo sustentável, em seus projetos de edificações.

A incorporação dos ditos Materiais km 0 tem contribuído muito para mudar este paradigma cíclico da construção civil, vez que esses materiais podem ser adquiridos localmente, sem necessidade de transporte ou transformação, e que, no fim da sua vida útil, podem facilmente ser reincorporados ao ambiente [8]. Esta visão sistêmica sobre a manufatura e o uso dos materiais de uma edificação é resultado de um necessário movimento de incentivo ao uso de insumos locais e que incorporem uma industrialização mínima [9]. Tal abordagem busca proporcionar construções mais sustentáveis, saudáveis, econômicas, socialmente acessíveis e identificadas com o lugar onde estão inseridas.

É importante ressaltar que a técnica de construção com terra, com o sistema em taipa de pilão, não é uma novidade no Brasil, visto que várias construções históricas mantêm essa técnica por trás de seus revestimentos e pinturas caiadas. No entanto, essa técnica caiu em desuso no início do século XIX com a popularização do cimento *Portland*. De acordo com Minke [10], as construções com terra são conhecidas há mais de nove mil anos, sendo amplamente usadas em diversas culturas antigas, tanto em residências quanto em templos e estruturas religiosas, que remontam a pelo menos cinco mil anos.

Os materiais de terra crua, possuem massa térmica elevada, isto é, conseguem absorver calor, retê-lo e, em seguida, liberá-lo com o tempo. Tal característica auxilia o sistema

construtivo a moderar significativamente as flutuações térmicas dentro de uma casa [11] oferecendo um maior conforto térmico para o usuário.

Minke [10] destaca que a taipa de pilão ainda é usada em diversos países, todavia, a emergência do uso de métodos e materiais mais sofisticados e de ferramentas mais apropriadas, como formas moduladas e apiloadores pneumáticos, tem possibilitado a execução desta técnica de modo mais eficiente, tornando seu uso mais expressivo, mesmo nos países desenvolvidos, dada a sua viabilidade econômica e o caráter ecológico do seu material, que tem o solo como elemento base.

Um dos primeiros países a empregar tecnologia neste sistema construtivo foi o Egito, através do arquiteto Hassan Fathy da Universidade do Cairo, onde a partir da inserção de novos equipamentos, métodos, ferramentas e design, revelaram novas possibilidades para o uso da taipa de pilão [12].

As pesquisas mais recentes sobre a taipa de pilão visam desenvolver composições que proporcionem aprimoramentos nas características físico-mecânicas. Além disso, nota-se um interesse crescente em métodos que possam elevar a eficiência na construção com este sistema, assim como a qualidade das estruturas resultantes [13].

Da mesma forma, a presente proposta de pesquisa está pautada em questões de cunho técnico, baseadas em uma agenda Ambiental-Cultural-Econômica [14], fundamentada na originalidade e sustentabilidade de materiais extraídos *in loco*, mas precisamente de solos do município Palmeiras das Missões, região noroeste do Rio Grande do Sul, a fim de agregar tecnologia na caracterização físico-mecânica destes solos e executar paredes autoportantes a partir do método construtivo em taipa de pilão.

## 2. Procedimentos Metodológicos

As etapas experimentais deste trabalho foram pautadas no correto procedimento metodológico intrínseco de cada ensaio, assim como, seguiram rigorosamente as normas técnicas de classificação da terra adotada como principal material constituinte das paredes em taipa de pilão. Assim, todo procedimento metodológico pautou-se nas normas de caracterização físico-mecânica do solo e cimento, além de trabalhos científicos (normatizados e/ou empíricos) que auxiliaram no entendimento das metodologias aqui adotadas.

### 2.1. Caracterização física

Este artigo partiu da seleção de dois solos (salmão e amarelo) encontrados no noroeste do Rio Grande do Sul, mais precisamente, no município de Palmeira das Missões-RS. Atentou-se aos experimentos necessários para ratificar sua aplicabilidade. Para tanto foi fundamental conhecer as características físicas do solo (extraídos *in loco*), para verificar sua conformidade em termos de coesão, compactação e composição granulométrica.

Os dois solos são oriundos da mesma mineração, contudo, de pontos distintos de coleta, o que resulta na coloração distinta entre eles, assim como percentuais distintos de areia e material argiloso, percentuais estes que foram obtidos via análise granulométrica perante a ABNT NBR 7181 [15], capaz de determinar as frações fina e grossa presentes no solo estudado. Além disso, verificou-se os limites de liquidez e plasticidade normatizados, respectivamente, pelas normas ABNT NBR 6459 [16] e ABNT NBR 7180 [17].

## 2.2. Caracterização mecânica

Os corpos de prova (CPs) foram moldados por compactação, com quatro camadas de mesma altura e compactadas com 10 golpes por camada, segundo a ABNT NBR 12023 [18]. A mistura foi espalhada dentro do molde para CPs de 15x10 cm, com quantidade suficiente para produzir uma camada compactada de mesma altura, dentre as quatro camadas necessárias até atingir uma altura total de 125mm, com diâmetro de 100mm.

Os CPs foram rompidos para a idade de 28 dias para determinação da resistência à compressão do solo-cimento compactado [19]. Adotou-se uma taxa de incremento de tensão de  $(0,25 \pm 0,10)$  MPa/min, em uma prensa servo controlada com capacidade máxima de 1.000 kN (Intermetric iM Unique 2223<sup>®</sup>).

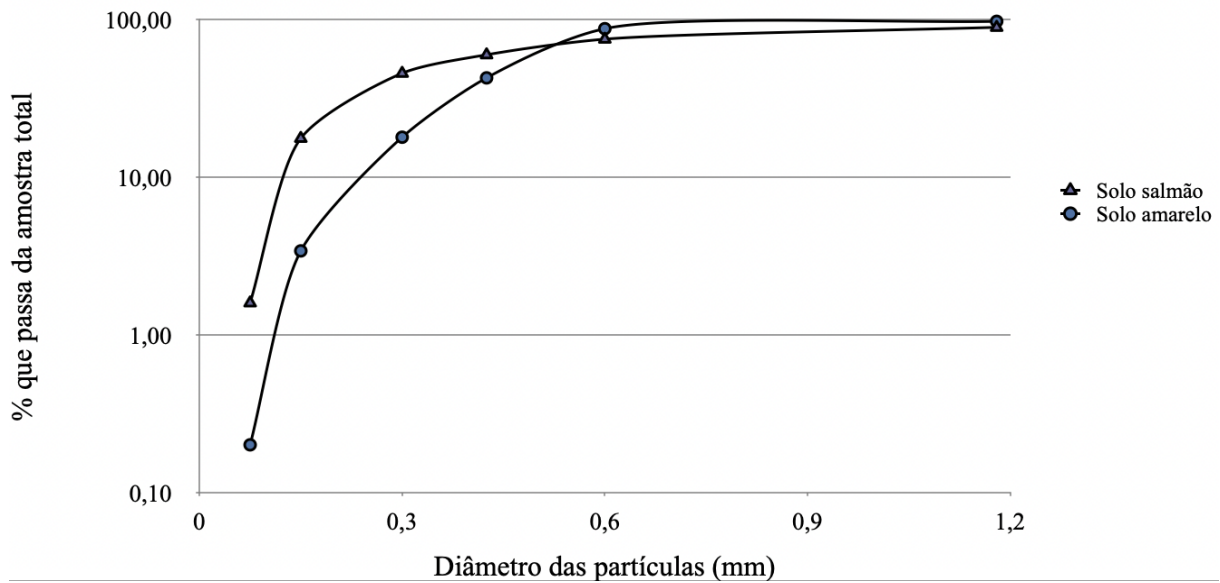
Para estabilização intergranular e melhor empacotamento das partículas do solo, adotou-se um percentual de 10% em adição de cimento CP V-ARI-RS, em relação à massa total de solo, a fim de obter um material de baixa permeabilidade, elevada densidade e capacidade de carga mínima de 2 MPa, conforme exigência da ABNT NBR 17014 [1] para atestar seu uso em paredes autoportantes. Embora o CP-V ARI possua um alto teor de clínquer e, conseqüentemente, um maior nível de emissão de CO<sub>2</sub>, o mesmo foi escolhido, para fins de pesquisa, a fim de evitar a inclusão da variabilidade intrínseca relacionada aos cimentos compostos (CP II e CP IV), que a depender do lote de fabricação, podem resultar em percentuais distintos de adição de resíduos e interferir na análise das amostras.

## 3. Resultados e Discussões

Os resultados foram divididos conforme a caracterização física e mecânica do solo-cimento compactado, fruto principal deste estudo. Ao longo dos resultados, quando se refere ao solo, faz-se referência a mistura de 100% do solo em questão com 10% de cimento para fins de estabilização, como forma de alcançar um melhor empacotamento das partículas e coesão durante o processo de compactação dos corpos de prova e de melhorar a resistência mecânica à compressão das amostras.

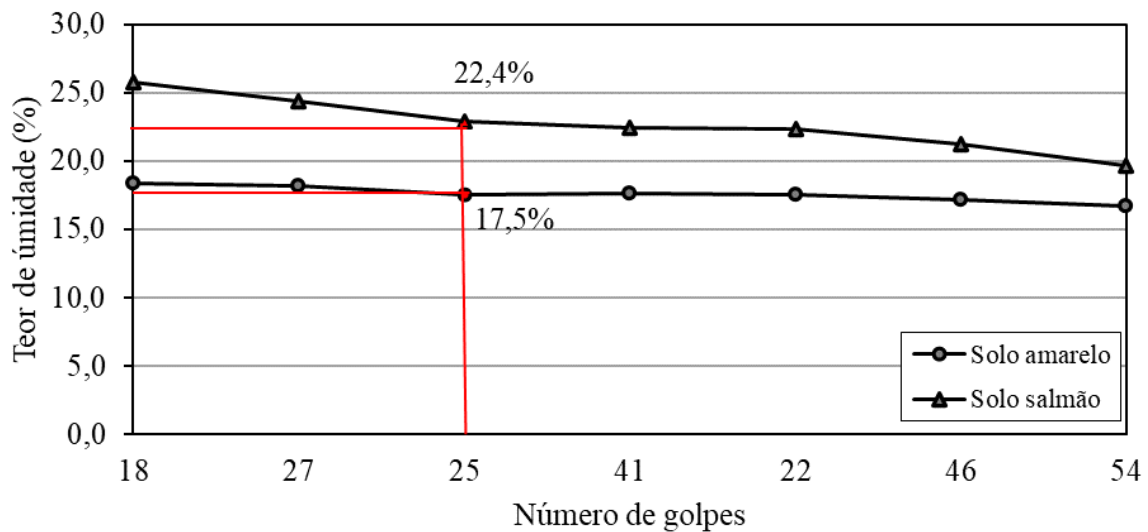
### 3.1. Caracterização física

Na Figura 1 são apresentados dados referentes aos ensaios de granulometria. Observa-se que os solos são constituídos por mais de 80% de material arenoso (partículas maiores que 0,075mm). Nesse sentido, não houve a necessidade de correção desta mistura com solos de granulometria mais fina (argilosos), a não ser a estabilização com cimento *Portland*.



**Figura 1:** Granulometria dos solos utilizados no estudo. Fonte: autores.

Sobre o ensaio de sedimentação, o solo amarelo é constituído de 5,98% de argila, 5,04% de silte e 88,98% de areia, enquanto que o solo salmão é constituído de 4,60% de argila, 13,70% de silte e 81,70% de areia. Já os valores obtidos para o limite de liquidez para o solo salmão e amarelo, foram respectivamente 22,4% e 17,5%, conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2:** Ensaio de Casagrande - Limite de Liquidez. Fonte: autores.

No geral, para paredes em taipa de pilão é comum encontrar solos com limites de liquidez na faixa entre 20% e 40%. Essa condição permite a melhor manipulação do solo durante o processo de compactação, garantindo uma boa coesão sem comprometer a trabalhabilidade.

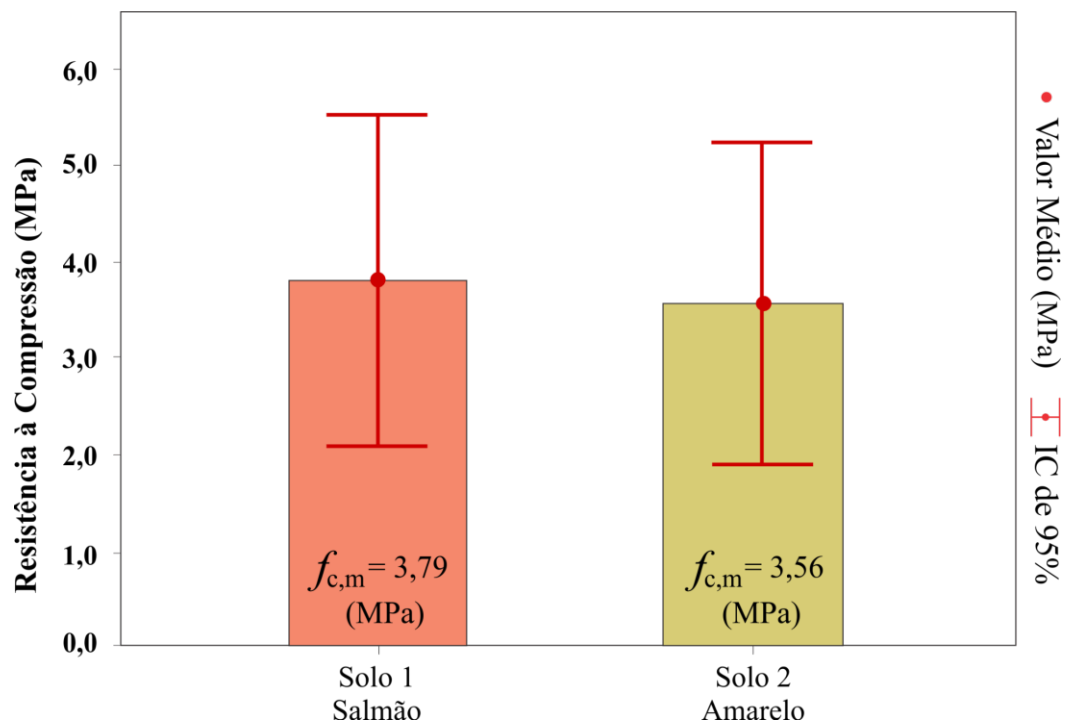
### 3.2. Caracterização mecânica

A análise dos resultados obtidos na avaliação da resistência mecânica, conforme estabelece a ABNT NBR 17014 [1], revelou dados significativos acerca do potencial de uso deste material em aplicações construtivas. A Figura 3 ilustra as amostras durante e após o rompimento em prensa hidráulica servo controlada.



**Figura 3:** CPs elaborados para ensaio de resistência mecânica: (a) antes e (b) após o rompimento. Fonte: autores.

Por fim, a Figura 4 traz os resultados das resistências à compressão para os solos estudados, com os valores médios e o intervalo de confiança (IC) para 95% de confiabilidade.



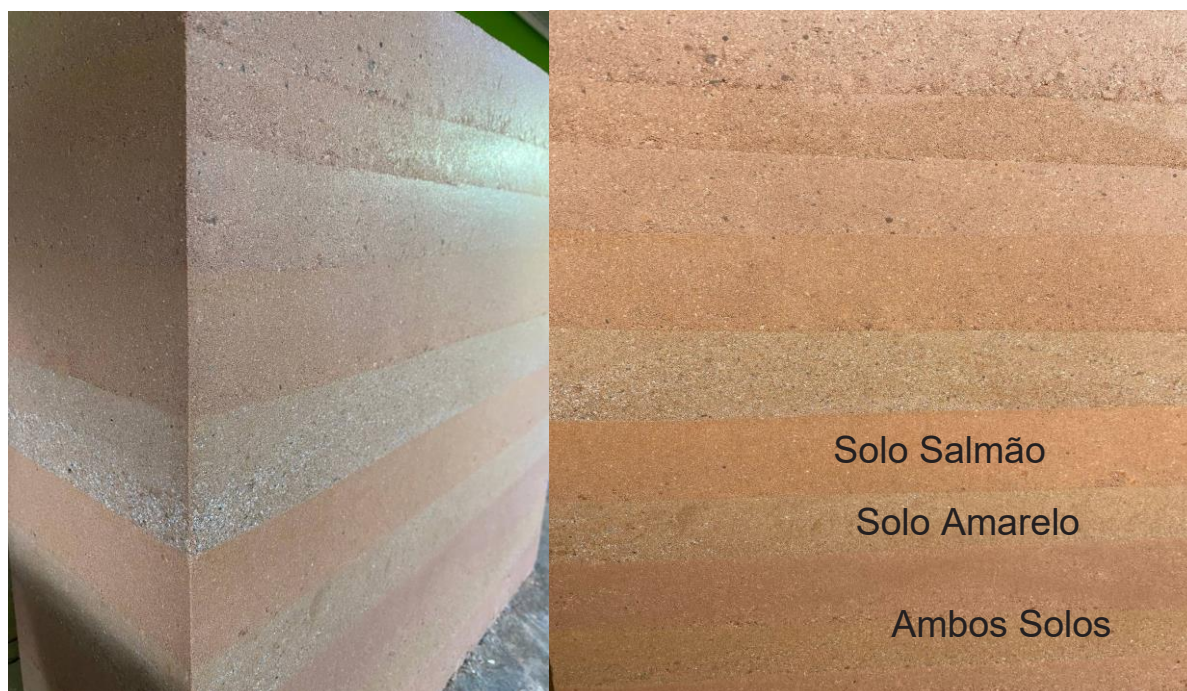
**Figura 4:** Resultados para resistência à compressão para os solos 1 e 2 (salmão e amarelo). Fonte: autores.

Os valores médios observados de 3,79 MPa e 3,56 MPa para os solos salmão e amarelo, respectivamente, indicam uma adequação às faixas normativas, sugerindo que os solos, sob as condições testadas, atende aos critérios mínimos de 2 MPa para consideração como material construtivo viável para a aplicação em paredes autoportantes em taipa de pilão.

### 3.3. Parede Experimental em Taipa de Pilão

A parede confeccionada nas práticas experimentais demonstrou bons resultados do ponto de vista da durabilidade, resistência e aparência, seja pela sua textura, coloração e rusticidade. Para a parede adotou-se em média 100 kg de material, o que resultou em um volume de 22x55x58 cm<sup>3</sup> de parede compactada, o que leva a necessidade de aproximadamente 1425 kg de material para a produção de 1 m<sup>3</sup> de parede em Taipa de Pilão com os solos pesquisados. Tais dados resultam num peso específico de 2200 kg/m<sup>3</sup>, considerado elevado quando comparado ao concreto armado convencional, por exemplo.

Observa-se na Figura 6 que a parede em questão não apresentou fissuras e alcançou uma aparência e textura ideais para seu futuro uso em paredes autoportantes de uma edificação.



**Figura 6:** Parede experimental ideal com os solos 1 e 2. Fonte: autores.

No estudo de caso analisado, a boa execução da parede em taipa de pilão foi avaliada, evidenciando as nuances que definem o sucesso desta técnica construtiva ancestral. A seleção do material com proporções maiores de material arenoso, juntamente com o controle preciso da umidade e a técnica de estabilização adotada, emergiu como um fator crítico, assegurando a homogeneidade e a compactação eficaz do material e, por consequência, em uma parede de ótima aparência, livre de esfarelamento, trincas ou qualquer outro tipo de patologia.

Por fim, algumas ponderações são importantes de serem elucidadas acerca dos experimentos supracitados, com destaque a dois pontos principais:

- 1) avaliar outros percentuais de mistura, solo e cimento, parece oportuno, uma vez que a alteração da composição granulométrica e do empacotamento das partículas parece ser o principal fator de ganho de resistência mecânica;
- 2) os ensaios de DRX e de granulometria a laser são importantes para uma versão expandida deste trabalho, a fim de avaliar a mineralogia dos solos e aprimorar a caracterização para fins de uma execução correta das paredes em taipa de pilão.

## 5. Considerações Finais

O bom desempenho construtivo da taipa de pilão é influenciado pela seleção criteriosa do solo, considerando a proporção ideal de seus componentes, juntamente com o controle preciso da umidade e da escolha adequada do material para sua estabilização, além da execução bem sucedida da técnica, que vai desde o uso correto de fôrmas de madeira plastificada e estruturas de contenção bem projetadas, capazes de resultar em paredes monolíticas robustas, com superfícies lisas e uniformes, fundamentais para a estabilidade estrutural e apelo estético de uma parede autoportante em taipa de pilão bem executada.

Os solos analisados mostraram-se promissores para o desenvolvimento do estudo e sucesso desta técnica construtiva ancestral. O mesmo atendeu o requisito mínimo de resistência à compressão exigida pela norma, permitiu a criação de paredes monolíticas robustas, com superfícies lisas e uniformes. O trabalho destacou ainda, a contribuição como um estudo de relevo para a criação de uma nova cadeia produtiva, na região noroeste do Rio Grande do Sul, que incorpore o uso dos solos aqui caracterizados aplicados no sistema da taipa de pilão, sendo este um método sem qualquer pesquisa protocolada na região.

A junção destes pontos, portanto, foi essencial para caracterizar, do ponto de vista físico e mecânico, dois solos da região, a fim de viabilizar sua utilização como um novo processo construtivo, aliado a um material natural, abundante e limpo, em edificações que contribua para uma construção civil mais eficiente, energética e econômica, que amplie o campo de atuação de profissionais que buscam inovar, de modo sustentável, em seus projetos.

Portanto, a execução bem-sucedida de uma parede em taipa de pilão, conforme observado neste estudo de caso, reforça o potencial desta técnica não apenas como uma opção construtiva ecológica, mas também como uma solução viável e eficiente para a construção contemporânea, desde que acompanhada de um entendimento suficiente de suas demandas técnicas e operacionais. Como estudos futuros, ressalta-se a relevância das características para interpretar os aspectos químicos e micro estruturais dos dois solos aqui estudados, o que poderá melhorar ainda mais o desempenho do mesmo para a presente aplicação.

## Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17014: Taipa de pilão – requisitos, procedimentos e controle**. Rio de Janeiro, 2022.
- [2] NEVES, C.; FARIAS, O. B. (2011). **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB-UNESP/PROTERRA. Disponível em: <http://www.redproterra.org>.
- [3] WOLENSKI, A.R.V.; BARIVIEIRA, C.A.; KOPPE, E.; BORÇATO, A.G.; WELTER, E.L., **Avaliação físico-mecânica de solos para execução de paredes autoportantes em taipa de pilão**. Revista Impact Projects, Santana do Araguaia, PA, 2023a.
- [4] PACHECO-TORGAL, F.; JALAL I, Said. **Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction**. Construction and building materials, v. 29, p. 512-519, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>.
- [5] CORDEIRO, Carol C. M.; BRANDÃO, Douglas Q.; DURANTE, Luciane C.; CALLEJAS, Ivan J. A. **Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e**



**contemporânea da taipa de mão.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e01906, jan. 2019. DOI: <http://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212>.

[6] PINHEIRO, L.; RANGEL, B.; GUIMARÃES, A., SILVA, A. **Panorama da produção de obras em terra crua com design contemporâneo nos últimos 60 anos no Brasil.** In: Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira, 2016, Porto: CEAU-FAUP, 2016.

[7] WOLENSKI, A.R.V.; HEUSER, C.A.; WELTER, E.L.; KOPPE, E.; BARIVIEIRA, C.A. **Caracterização físico-mecânica de solo-cimento para fins de produção de paredes em taipa de pilão.** In: ENSUS 2023 - XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto - UFSC - Florianópolis, SC, São Carlos, SC, 2023b.

[8] SOUZA, E. (2021). **Materiais a 0 km e a ideia de preservar o meio ambiente e as culturas locais.** ArchDaily Brasil. Acessado via [www.archdaily.com.br](http://www.archdaily.com.br).

[9] CALDAS, L. R.; MARTINS, A. P. de S.; TOLEDO FILHO, R. D. **Construção com terra no Brasil: avaliação ambiental da taipa de pilão.** PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 12, p. e021015, 2021.

[10] MINKE, G. **Manual de construção com terra: a terra como manual de construção e seu uso na arquitetura.** Lauro de Freitas: Solisluna, 2022. 224 p. Traduzido por Jorge Simões.

[11] LOVEC, Vesna B.; JOVANOVIĆ-POPOVIĆ, Milica Dj.; ŽIVKOVIĆ, Branislav D. **THE THERMAL BEHAVIOUR OF RAMMED EARTH WALL IN TRADITIONAL HOUSE IN VOJVODINA Thermal Mass as a Key Element for Thermal Comfort.** THERMAL SCIENCE: Year 2018, Vol. 22, Suppl. 4, pp. S1143-S1155.

[12] GATTI, F. **Arquitectura y construcción en tierra: estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra.** Dissertação de mestrado. Barcelona, UPC, 2012, p. 45.

[13] MENDES, L.C.F. e BESSA, S.A.L. (2021). **Análise da evolução tecnológica da taipa de pilão contemporânea.** IX Sustentável, 8(1), 66–77, 2021.

[14] CORREIA, M.; GÓMES, F.; CARLOS, G. D.; CORREIA, J. (2014). **Reflexões do projeto versus contributo do patrimônio vernáculo para a arquitetura contemporânea sustentável.** In: 14º Seminário Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, SIACOT. Anais. El Salvador, p. 80-87.

[15] NBR 7181 (2016). **Solo – análise granulométrica.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[16] NBR 6459 (2016). **Solo – determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[17] NBR 7180 (2016). **Solo – determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[18] NBR 12023 (2012). **Solo-cimento – ensaio de compactação.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[19] NBR 12025 (2012). **Solo-cimento: ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos: método de ensaio.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo auxílio financeiro aos projetos de pesquisa que originaram o presente artigo e a empresa De Marco Mineração, de Palmeiras das Missões-RS, pelo fornecimento dos solos estudados nesta pesquisa.