

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CAMPUS PATOS  
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**JOSÉ RICARDO TOMÁS PEDROSA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLO COM ADIÇÃO  
DE FIBRA DE SISAL PARA CONSTRUÇÕES EM TAIPA DE PILÃO**

**PATOS - PB  
2025**

**JOSÉ RICARDO TOMÁS PEDROSA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLO COM ADIÇÃO DE FIBRA  
DE SISAL PARA CONSTRUÇÕES EM TAIPA DE PILÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientador:** Prof. Me. Dennis Oliveira  
Galdino

**PATOS - PB  
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

P732a Pedrosa, José Ricardo Tomás.

Avaliação da resistência mecânica de solo com adição de fibra de sisal para construções em taipa de pilão / José Ricardo Tomás Pedrosa. - Patos, 2025.

35 f. :il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2025.

Orientador(a): Prof. Me. Dennis Oliveira Galdino.

1. Mecânica do solo 2. Solos-Fibra de sisal-Taipa de pilão 3. construção sustentável I. Título II. Galdino, Dennis Oliveira III. Instituto Federal da Paraíba.

CDU –624.13

**JOSÉ RICARDO TOMÁS PEDROSA**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE SOLO COM ADIÇÃO DE FIBRA  
DE SISAL PARA CONSTRUÇÕES EM TAIPA DE PILÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *Campus* Patos, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

**APROVADO EM: \_\_\_/\_\_\_/ 2025**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Dennis Oliveira Galdino - Orientador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

---

Prof. Me. Valteson da Silva Santos - Examinador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

---

Prof. Dr. Franksale Fabian Diniz de Andrade Meira – Examinador Externo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

*“Nada te perturbe, Nada te espante, Tudo passa, Deus não muda, A paciência tudo alcança;”. (Santa Tereza D’Avila)*

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, rendo graças a Deus, cuja presença e misericórdia me sustentaram em cada etapa desta caminhada. Nos momentos de incerteza e dificuldade, foi em Suas mãos que depus minhas aflições, e d'Ele recebi a força e a orientação necessárias para prosseguir. À Nossa Senhora, Mãe amorosa, agradeço por me acolher em Seu colo e me proteger sob o Seu manto, fortalecendo-me com serenidade e fé.

Expresso minha profunda gratidão à minha família, alicerce constante na minha formação pessoal e profissional. Seu apoio incondicional, incentivo e compreensão foram fundamentais para que eu superasse os desafios encontrados ao longo desta jornada.

Agradeço, ainda, aos amigos que caminharam ao meu lado, oferecendo palavras de ânimo, companheirismo e apoio genuíno. De maneira especial, registro minha sincera gratidão a Gleidson Palmeira, Joseildo Avelino, Robertano Segundo e Gutemberg França, cujos conselhos, exemplos e presença foram decisivos nos momentos em que mais precisei. As parcerias no decorrer do curso em especial a Lucas Monteiro, e a Janilson.

À minha namorada, Hyrla Bezerra, agradeço por cada gesto de carinho, paciência e encorajamento. Sua presença constante, especialmente nos momentos mais difíceis, foi essencial para que eu pudesse seguir em frente com confiança e esperança.

Por fim, ao meu orientador Dennis, agradeço por ter acolhido este desafio com tanta disposição e generosidade. Sua orientação atenta, disponibilidade e apoio foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

.

## RESUMO

Em regiões de clima predominantemente quente e seco, como o semiárido nordestino, a busca por alternativas sustentáveis na construção civil tem incentivado diversos estudos. Este trabalho tem como objetivo analisar a resistência de um solo utilizado em taipa de pilão e verificar o impacto da adição de fibra vegetal de sisal, proveniente de resíduos da fabricação de vassouras na cidade de Matureia-PB. Para isso, foram realizados ensaios laboratoriais conforme normas técnicas, incluindo análise granulométrica, limites de Atterberg, ensaio de Proctor Normal e ensaios mecânicos de compressão simples e compressão diametral, em corpos de prova com e sem adição de 0,5% em massa de fibra de sisal. Os resultados demonstraram que, embora o solo natural atenda aos parâmetros granulométricos e de plasticidade da ABNT NBR 17014:2022, não alcançou a resistência mínima recomendada. A adição da fibra de sisal resultou em um aumento de 32% na resistência à compressão simples e 24% na compressão diametral. Conclui-se que o uso da fibra de sisal apresenta potencial como solução técnica viável e sustentável para aumento da resistência, embora não tenha alcançado a resistência para uso como taipa de pilão.

**Palavras-chave:** taipa de pilão; fibra de sisal; solo reforçado; construção sustentável; resistência mecânica.

## ABSTRACT

In regions with predominantly hot and dry climates, such as the Brazilian semi-arid Northeast, the search for sustainable alternatives in civil construction has encouraged several studies. This research aims to analyze the strength of a soil used in rammed earth construction and to evaluate the impact of adding vegetable sisal fiber, derived from broom manufacturing waste in the city of Matureia-PB. Laboratory tests were conducted in accordance with technical standards, including particle size analysis, Atterberg limits, Standard Proctor test, and mechanical tests of unconfined compressive strength and Brazilian tensile strength, using specimens with and without the addition of 0.5% by mass of sisal fiber. Results showed that although the natural soil met the particle size and plasticity parameters established by ABNT NBR 17014:2022, it did not reach the minimum recommended strength. The addition of sisal fiber resulted in a 32% increase in unconfined compressive strength and a 24% increase in Brazilian tensile strength. It is concluded that the use of sisal fiber shows potential as a technically viable and sustainable solution for strength improvement, although it did not achieve the required resistance for rammed earth applications.

**Keywords:** rammed earth; sisal fiber; reinforced soil; sustainable construction; mechanical strength.

## **LISTA DE SIGLAS**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABCTerra – Associação Brasileira dos Construtores em Terra

ABMTENC – Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEPED – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia

CF/88 – Constituição Federal de 1988

$f_{ck,est}$  – Resistência estimada à compressão simples (com fator de incerteza)

$f_{c1}$  – Menor valor de resistência individual à compressão simples

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira

SBI – Sociedade Brasileira de Imunologia

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
Quadro 1 .....	Linha do Tempo	17
Quadro 2 .....	Adaptação da tabela C1 da NBR 17014	22
Quadro 3 .....	Resultados limite de plasticidade e liquidez	25
Quadro 4 .....	Resultados médios de resistência dos corpos de prova	27
Quadro 5 .....	Resultados de resistência mínima dos corpos de prova	28
Quadro 6 .....	Resistência à compressão corrigida dos corpos de prova	28
Quadro 7 .....	Resultados de resistência corrigida corpos de prova diametral	28

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
Figura 1 .....	Localização de coleta do solo	20
Figura 2 .....	Curva granulométrica do solo estudado	24
Figura 3 .....	Curva de compactação	26
Figura 4 .....	Rompimentos dos corpos de prova	27

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Geral.....	14
1.1.2 Específicos.....	14
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>15</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 REFORÇO DE SOLO COM FIBRAS NATURAIS.....	17
3.2 DESEMPENHO TÉRMICO E AMBIENTAL.....	18
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	19
4.2. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	20
4.2.1 Parâmetros de Moldagem:.....	21
4.3. ENSAIOS MECÂNICOS.....	21
4.3.1 Cálculo da tensão de ruptura conforme norma.....	21
4.3.1 Controle de Variáveis.....	22
4.4. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS E NORMATIVAS.....	23
4.4.1 Contribuição do Método.....	23
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o desenvolvimento da agricultura e a domesticação de animais, quando os seres humanos deixaram de ser nômades, surgiu a necessidade fundamental de um local fixo para abrigo, o que levou ao surgimento das primeiras casas e habitações. Com o tempo, esses espaços deixaram de ser apenas refúgios físicos e passaram a constituir também ambientes de intimidade e individualidade, como destaca DaMatta (1997) em sua obra.

Com isso, as habitações passaram a ter mais funções do que apenas proteger de predadores e das intempéries, passando a oferecer conforto e privacidade. Desse modo, vários métodos foram empregados ao decorrer dos anos, desde as pirâmides de pedra em Gizé, no Egito, até as construções modulares atuais.

Aliado à necessidade histórica de moradia, ainda é necessário ressaltar o direito à moradia assegurado pela constituição federal do Brasil de 1988 CF/88, em especial por a emenda constitucional nº 26/2000 que garante a moradia como um direito social.

Alguns modelos construtivos utilizados no Brasil nos séculos passados incluem o uso do solo como matéria-prima. Segundo Faria (2011), as construções de terra foram amplamente utilizadas até 1730, quando começaram a ser substituídas por edificações em pedra. Contudo, o adobe, a taipa de pilão e o pau a pique continuaram sendo referenciados por viajantes de Minas Gerais até o século XIX.

No Nordeste brasileiro, segundo Feitosa (2022), o pau a pique foi amplamente utilizado devido ao seu conforto térmico para uma região tão quente. Contudo, segundo a Sociedade Brasileira de Imunologia (SBI, 2024), esse tipo de construção pode facilitar a proliferação do inseto transmissor da doença de Chagas, pois ele se esconde nas frestas e buracos das paredes. Dessa forma, a taipa de pilão pode se tornar uma alternativa viável para a região, já que, devido ao seu método construtivo onde o solo é compactado entre formas de madeira e colocado em camadas finas, sempre compactando não possibilita o surgimento das frestas típicas do pau a pique. Além disso, mantém características importantes, como o conforto térmico, o baixo custo e a facilidade de execução.

A taipa de pilão geralmente é construída com argila e palha de arroz. Segundo Henrique (2012), a palha de arroz, por ser flexível, atua como elemento de

resistência na mistura, evitando o aparecimento de trincas nas paredes construídas. No Nordeste brasileiro, em especial na região de estudo, nas proximidades de Patos-PB, devido à importância histórica e à abundância, propõe-se a substituição da palha de arroz por fibra de sisal como foco deste estudo. O sisal é uma planta adaptada ao semiárido nordestino, com grande potencial de produção em áreas próximas a Patos, como os municípios de Santa Luzia e Teixeira, (Medeiros *et al.*, 2015). Historicamente, o cultivo do sisal teve um período de grande expansão na década de 1970, quando a crise do petróleo aumentou o custo das fibras sintéticas e impulsionou o uso de fibras naturais, como o sisal, no Nordeste do Brasil (Patsayev, 2011).

## **1.1 OBJETIVOS**

### 1.1.1 Geral

Este estudo tem como objetivo geral analisar a resistência de um solo de acordo com os parâmetros normalizados na ABNT NBR 17014:2022 e verificar se a adição de fibras vegetais de sisal provenientes de resíduos da fabricação de vassouras na cidade de Matureia-PB promove incremento significativo de resistência mecânica.

### 1.1.2 Específicos

- Caracterizar fisicamente e mecanicamente o solo utilizado, por meio de ensaios laboratoriais normalizados (granulometria, limites de Atterberg e compactação Proctor);
- Comparar os resultados obtidos entre os grupos com e sem fibra, aplicando o fator de incerteza conforme a ABNT NBR 17014:2022;
- Avaliar a viabilidade técnica da incorporação de fibras de sisal como alternativa sustentável de reforço em construções de terra crua.

## 2 JUSTIFICATIVA

A taipa de pilão é uma técnica construtiva tradicional que apresenta baixo custo, bom desempenho térmico e potencial sustentável, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro. No entanto, sua adoção é limitada pela baixa resistência mecânica de alguns solos. A adição de fibras naturais, como o sisal abundante na região e proveniente de resíduos da fabricação de vassouras, surge como uma provável alternativa viável para reforço do solo. Este estudo se justifica pela necessidade de avaliar tecnicamente essa solução, buscando melhorar o desempenho estrutural da taipa de pilão e promover o uso sustentável de materiais locais.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A terra, ao contrário de paradigmas preconceituosos que a associam à fragilidade e à ineficiência, é uma das opções mais viáveis no setor construtivo contemporâneo (Corrêa *et al.*, 2019). Esse resgate da terra como material alternativo tem se mostrado um caminho potencial, sobretudo pela eliminação do processo de queima necessário na produção de materiais cerâmicos, o que contribui para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Além disso, caracteriza-se como uma oportunidade para o desenvolvimento de tecnologias apropriadas de construção para assentamentos rurais (Veraldo *et al.*, 2019).

Os ganhos ambientais são, portanto, um dos principais fatores que motivam a revitalização de técnicas vernaculares, agora amparadas por embasamento científico e propostas inovadoras (Corrêa *et al.*, 2019). Além do aspecto ecológico, Rodrigues e Feiber (2023) destacam que a taipa de pilão contribui significativamente para o conforto térmico das edificações, o que é essencial em regiões de clima quente, como o semiárido nordestino.

No Brasil, diversas entidades têm incentivado o estudo e a promoção de tecnologias construtivas em terra. Organizações como a Associação Brasileira dos Construtores em Terra (ABCTerra), o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia (CEPED), a Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Convencionais (ABMTENC) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) vêm desempenhando papel fundamental na disseminação de práticas construtivas sustentáveis e no fortalecimento da pesquisa sobre o uso de materiais naturais na construção civil (Cordeiro *et al.*, 2006).

Para compreender melhor a importância histórica e cultural do uso da terra como material de construção, bem como as características e práticas associadas às técnicas tradicionais, apresenta-se a seguir um quadro com citações de autores e órgãos relevantes que ilustram diferentes aspectos e perspectivas sobre a taipa e a construção em terra no Brasil ao longo do tempo.

Quadro 1. Linha do Tempo

<b>CONSTRUÇÕES DE TERRA AO LONGO DA HISTÓRIA</b>	
1958	" <i>Obtém-se uma boa homogeneidade da massa misturando-a bem e sua consistência é, por vezes, aumentada com esterco de curral ou palhas diversas.</i> " (Milanez, 1958)
1958	"A terra sempre foi e provavelmente ainda será por muitos séculos o material de construção por excelência, especialmente nas zonas rurais." (Milanez, 1958)
1978	"A senzala, moradia dos escravos, localizava-se entre as edificações da casa-grande e da casa-de-engenho. Era uma construção de taipa, de forma retangular alongada, possuindo uma única entrada com porta baixa, estreita, e várias janelas." (Costa; Mesquita, 1978)
1989	"A taipa de pilão foi uma adoção lógica em São Paulo, ou melhor, a opção inevitável. No quadro ecológico, a decisão por exclusão. No litoral houve tentativas, talvez por serem mais baratas, mais fáceis ou até mais rápidas na fatura de construções de taipa de pilão" (Lemos, 1989)
1989	"Era conveniente que a grossa parede de terra socada estivesse acumulando calor do sol para aquecer o repouso noturno do mameluco cansado." (Lemos, 1989)
2010	"Sabe-se que inúmeras construções históricas executadas com terra crua são encontradas, ainda hoje, perfeitamente conservadas, como também, edificações contemporâneas, localizadas em locais diversos do Brasil." (Lopes et al. 2010)

Fonte: Autor

### 3.1 REFORÇO DE SOLO COM FIBRAS NATURAIS

Entre as diversas estratégias para aprimorar o desempenho dos materiais tradicionais, destaca-se o uso de fibras naturais como reforço. Estudos têm demonstrado que a adição de fibras vegetais ao solo pode resultar em ganhos significativos de resistência mecânica. Magaraia (2021) observaram que a adição de 0,25% e 0,5% de fibras de sisal promoveu aumento na resistência do solo em ensaios de penetração. Da mesma forma, Fonseca da Silva et al. (2019) verificaram que a utilização de fibras com 50 mm de comprimento proporcionou um aumento expressivo nas propriedades mecânicas do solo.

Essa prática alinha-se ao princípio da sustentabilidade, pois, além de melhorar o desempenho técnico, contribui para a valorização de recursos locais e para o aproveitamento de resíduos da agroindústria, (Queiroga *et al.*, 2021) destaca

que os resíduos da produção do sisal, ainda subaproveitados, poderiam ser utilizados de múltiplas formas, como é o caso do sisal no Nordeste brasileiro. Patsayev, (2011) destaca que o cultivo do sisal teve grande expansão na década de 1970, impulsionado pelo aumento do custo das fibras sintéticas durante a crise do petróleo, o que favoreceu o uso de fibras naturais na indústria e na construção.

### **3.2 DESEMPENHO TÉRMICO E AMBIENTAL**

Além da resistência mecânica, os materiais tradicionais em terra crua possuem vantagens no que diz respeito ao desempenho térmico. Faria et al. (2019) evidenciam que as paredes de adobe são aproximadamente cinco vezes mais isolantes do que as paredes de blocos de concreto, ainda que essa vantagem seja reduzida devido à maior espessura exigida nas paredes de terra.

Por outro lado, Costa e Mello (2023) demonstraram que, quando estabilizada com determinados materiais, a taipa de pilão pode apresentar resistência superior à alvenaria convencional, ampliando as possibilidades de aplicação da técnica em edificações estruturais.

O fortalecimento dessas práticas e o desenvolvimento de novas tecnologias a partir de materiais naturais também buscam atender à crescente demanda por construções mais eficientes do ponto de vista energético e ambiental. Como salientam (Veraldo *et al.* 2019), o uso da terra na construção contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e promove a adoção de tecnologias apropriadas para o contexto socioeconômico das comunidades rurais.

## **4 METODOLOGIA**

A metodologia deste trabalho foi desenvolvida com base em procedimentos laboratoriais padronizados, visando avaliar a resistência de solos sem estabilização e com adição de fibra de sisal, seguindo os parâmetros normativos para taipa de pilão. O estudo foi estruturado em etapas experimentais, desde a caracterização do solo até a realização de ensaios mecânicos, conforme detalhado a seguir.

Para garantir a confiabilidade dos resultados, foi aplicada a seguinte abordagem:

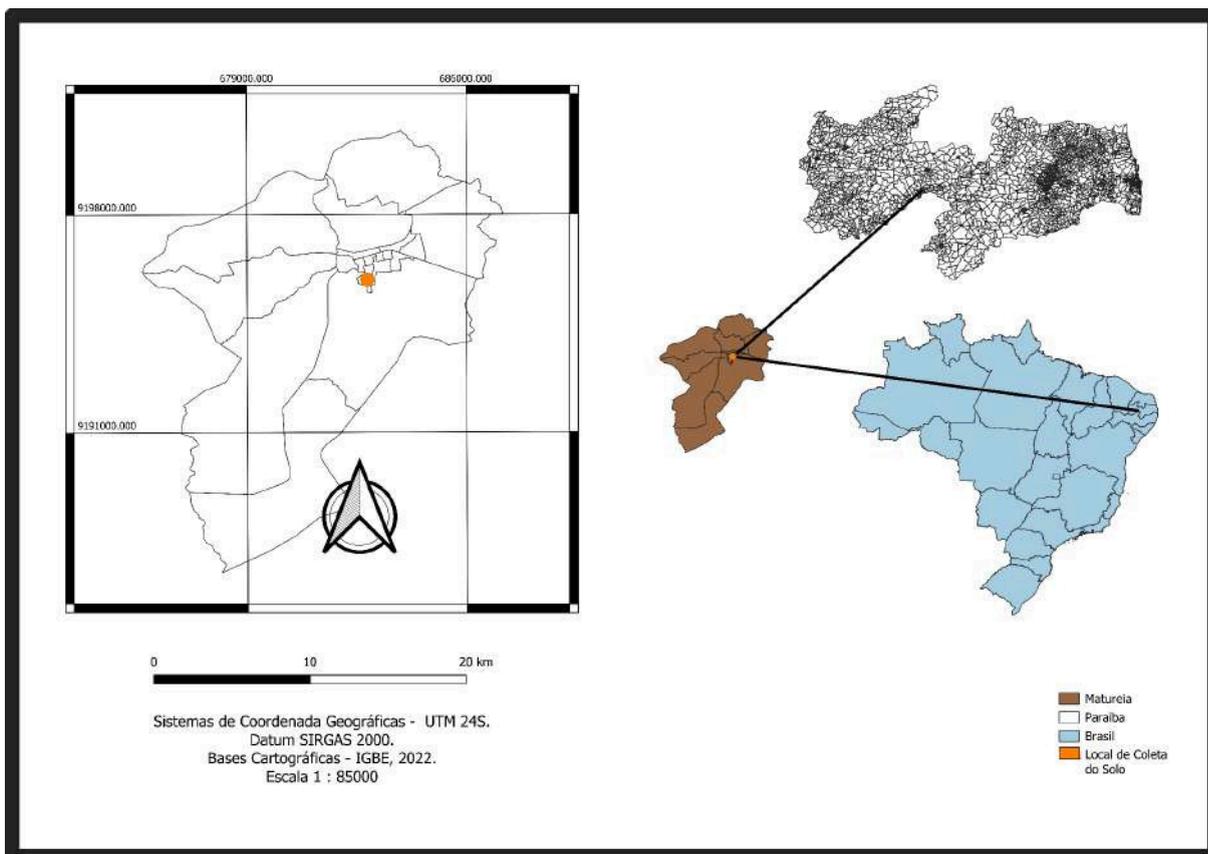
Cálculo da resistência de acordo com o item C6 da ABNT NBR 17014 que leva em consideração a análise mínima com correção de incerteza, e uma análise média.

Será realizada a comparação entre os grupos de amostras com e sem adição de fibras de sisal, a fim de avaliar a influência da fibra na resistência. Os resultados serão analisados de acordo com os parâmetros normativos estabelecidos, considerando a viabilidade do uso do sisal em construções de taipa de pilão como recurso de melhoria da resistência mecânica ou, ainda, como alternativa para adequação em casos em que o solo não atinja a resistência mínima exigida.

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO**

Para garantir a representatividade do material utilizado este coletado em local apresentado na figura 1, foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica do solo, seguindo normas técnicas específicas:

Figura 1. Localização de coleta do solo



Fonte: Autor

Granulometria: Determinação da distribuição de partículas conforme ABNT NBR 7181/2016.

Limites de Atterberg (plasticidade e liquidez): Ensaio de ABNT NBR 6459/2016 e ABNT NBR 7180/2016.

Compactação: Ensaio Proctor Normal ABNT NBR 7182/2016 para determinação da umidade ótima e densidade máxima.

O solo selecionado atendeu aos requisitos normativos de granulometria e limites para taipa de pilão, não sendo necessária estabilização química a primeiro momento.

#### 4.2. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram moldados 24 corpos de prova, divididos em dois grupos principais:

Grupo 1 (sem fibra): 12 corpos de prova com solo natural.

Grupo 2 (com fibra de sisal): 12 corpos de prova com adição de 0,5% em massa de fibra de sisal e comprimento de aproximadamente 50mm de acordo com (Fonseca da Silva *et al.*, 2019)

#### 4.2.1 Parâmetros de Moldagem:

Dimensões: 12,5 cm x 10 cm (cilíndricos), conforme padrão para ensaios de compressão.

Compactação: Utilizou-se o molde cilíndrico pequeno ( $\varnothing$  interno  $100,0 \pm 0,4$  mm, altura  $127,3 \pm 0,3$  mm, volume útil  $1\ 000 \pm 10$  cm<sup>3</sup>), ensaio de compactação Proctor Normal conforme ABNT NBR 7182:2016, empregando soquete pequeno de  $2\ 500 \pm 10$  g, altura de queda de  $305 \pm 2$  mm, em 3 camadas com 26 golpes por camada.

Cura: Os corpos de prova foram armazenados em ambiente coberto por lona para evitar a saída da umidade de forma repentina por 7 dias antes dos ensaios, sendo os ensaios realizados aos 14 dias.

### 4.3. ENSAIOS MECÂNICOS

Foram realizados dois tipos de ensaios para avaliação da resistência:

a) Ensaio de Compressão Simples (ABNT NBR 5739/2018) com objetivo de determinar a resistência à compressão uniaxial, sendo rompidos 4 corpos de prova aleatoriamente selecionados de cada grupo (com e sem fibra). E com aplicação de carga axial até ruptura em máquina de ensaio universal.

b) Ensaio de Compressão Diametral (ABNT NBR 7222/2011) com objetivo de avaliar a resistência à tração indireta. Sendo rompidos 4 corpos de prova de cada grupo submetidos a carga diametral.

#### 4.3.1 Cálculo da tensão de ruptura conforme norma.

Para fins de cálculo foram utilizados equação cálculo de tensão de tração por compressão diametral equação 1:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad (1)$$

onde:

$\sigma_t$  = resistência à tração indireta (MPa);

P = carga máxima aplicada (N);

D = diâmetro do corpo de prova (mm);

L = altura (comprimento) do corpo de prova (mm);

Para calcular a resistência à compressão foi utilizado a equação de tensão compressão expressa a equação 2:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

onde:

$\sigma_c$  = resistência à compressão axial (MPa);

P = carga máxima aplicada (N);

A = área da seção transversal (mm<sup>2</sup>);

#### 4.3.1 Controle de Variáveis

Para melhor análise dos resultados é importante levar em consideração o fator de incerteza descrito pela NBR 17014, que depende do número de corpos de prova

Quadro 2. Adaptação da tabela C1 da NBR 17014

Nº de corpos de prova n	$\phi$
3	0,80
4	0,84
5	0,87

Fonte: adaptado da NBR 17014

$$f_{ck,est} = \phi \times f_{c1} \quad (3)$$

onde:

$f_{ck,est}$  = é a resistência à compressão simples da amostra, expressa em megapascals (MPa), com precisão de uma casa decimal;

$f_{c1}$  = 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;

$\phi$  = é o fator de incerteza, em função da quantidade de corpos de prova da amostra (n).

#### **4.4. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS E NORMATIVAS**

Todos os ensaios seguiram rigorosamente as normas técnicas brasileiras, garantindo reprodutibilidade e confiabilidade. A seleção aleatória dos corpos de prova buscou minimizar vieses experimentais.

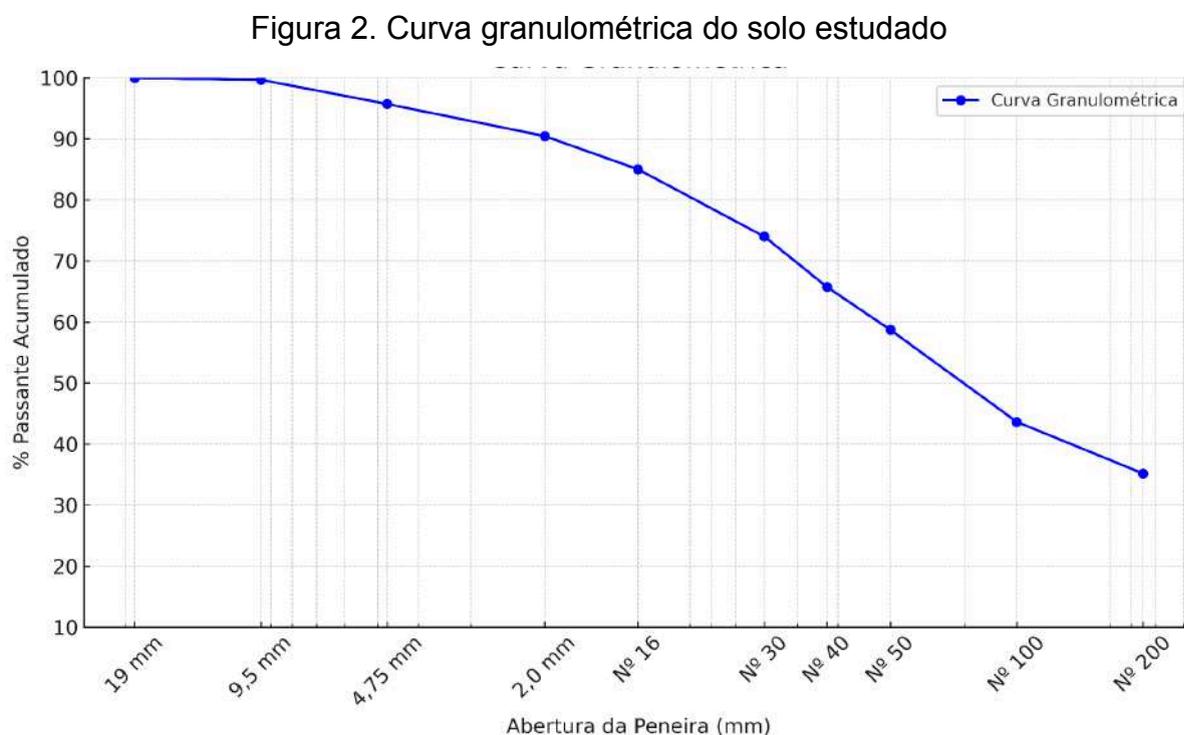
##### **4.4.1 Contribuição do Método**

Esta metodologia permitiu:

- Avaliar quantitativamente o efeito da fibra de sisal na resistência do solo.
- Comparar os dois tipos de ensaios (compressão simples × diametral) para entender o comportamento mecânico.
- Gerar dados replicáveis para futuras pesquisas em taipa de pilão reforçada.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o figura 2, o solo analisado, sem adição de estabilização, apresentou curva granulométrica compatível com os parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 17014:2022 para taipa de pilão. Observou-se 74,01% do material estava entre as peneiras de 2,0 mm e 0,75 mm, enquanto 20% passou pela peneira de 0,075 mm. Solos com granulometria adequada favorecem a distribuição equilibrada das partículas, na qual os grãos menores preenchem os vazios deixados pelos maiores. Essa configuração resulta em uma estrutura mais densa, com maior interação entre as partículas, o que impacta positivamente as propriedades mecânicas (Zorzan et al., 2019). Segundo Koziel et al. (2022), solos com teores adequados de finos tendem a apresentar melhor desempenho estrutural devido à maior coesão, enquanto um excesso de areia reduz essa coesão. Assim, o solo com as características encontradas neste estudo apresenta potencial de resistência, não apenas por atender aos parâmetros normativos, mas também por suas propriedades físicas favoráveis.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados dos ensaios de limites de Atterberg indicam um limite de liquidez (LL) de 30,26%, valor inferior ao limite máximo de 50% estabelecido pela

ABNT NBR 17014/2022, sugerindo uma plasticidade moderada que favorece a trabalhabilidade do solo durante a construção. O limite de plasticidade (LP), com 16,77%, está dentro de uma faixa moderada, e o índice de plasticidade (IP) de 13,49% se situa no inferior ao ideal de 25% para taipa de pilão como apresentado no quadro 3. Essa combinação de parâmetros é fundamental para garantir um equilíbrio entre a coesão do solo e sua resistência a deformações, condição essencial para a estabilidade das paredes construídas com terra crua (Kozziel et al., 2022). Ainda segundo esses autores, solos com plasticidade moderada apresentam melhor comportamento estrutural e menor susceptibilidade a fissuras, especialmente em condições de variações de umidade. Contudo, é importante destacar que solos com plasticidade muito alta podem comprometer a durabilidade da taipa, enquanto valores muito baixos dificultam a compactação adequada, reforçando a necessidade do controle rigoroso desses índices durante a seleção do material. Assim, os resultados indicam que o solo estudado possui características adequadas para uso em taipa de pilão, embora a adição de fibras possa comprometer a trabalhabilidade proporcionada pelos limites de plasticidade, mesmo que contribua para otimizar a resistência e a durabilidade do material em aplicações práticas.

Quadro 3. Resultados limite de plasticidade e liquidez

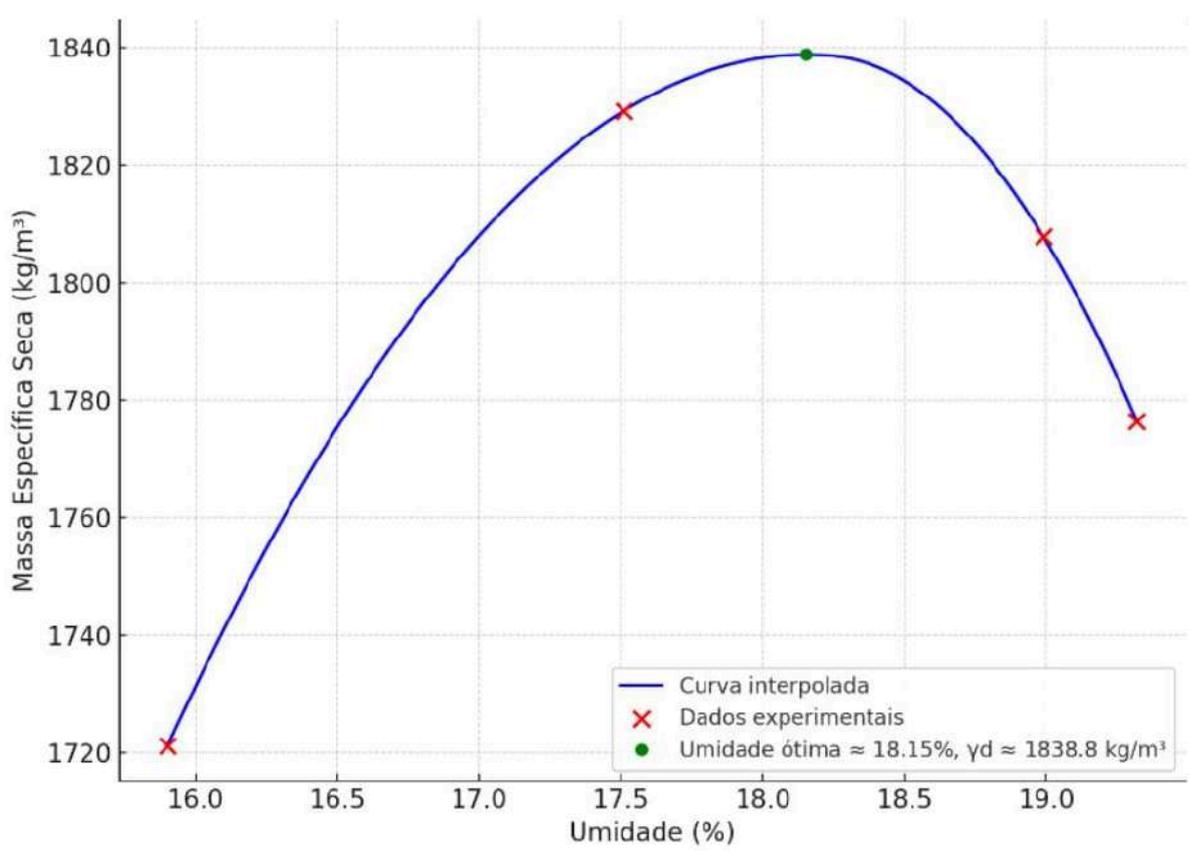
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado Obtido</b>	<b>Requisito de Referência</b>	<b>Conclusão</b>
Limite de Liquidez (LL)	30,26 %	≤ 50 %	Atende
Limite de Plasticidade (LP)	16,77 %	—	—
Índice de Plasticidade (IP)	13,49 %	≤ 25 %	Atende

Fonte: Elaborado pelo autor

No ensaio de compactação (curva Proctor normal), obteve-se um teor de umidade ótima de 18,10% apresentado na figura 3. Esse valor, em conjunto com a massa específica seca máxima, permitiu o preparo dos corpos de prova com maior homogeneidade e melhor distribuição de partículas, fatores considerados fundamentais para o desempenho mecânico da taipa de pilão. O teor de umidade

ótima representa o nível ideal de água que permite que as partículas do solo se acomodem da melhor forma possível, minimizando vazios e maximizando a densidade. Essa condição é essencial para garantir que o solo alcance sua maior resistência no estado saturado ao ser compactado, já que uma umidade abaixo ou acima desse ponto pode comprometer a compactação e, conseqüentemente, a estabilidade da estrutura. A massa específica seca máxima indica o quanto o solo pode ser densificado sob as condições do ensaio, refletindo diretamente na capacidade do material de resistir a cargas e deformações. No contexto da taipa de pilão, assegurar essa combinação entre umidade e densidade é vital, pois influencia diretamente a durabilidade e o comportamento estrutural das paredes. Na prática, isso significa que o controle cuidadoso da umidade durante a construção é um aspecto crítico, pois variações significativas podem gerar fragilidades ou até fissuras na taipa, prejudicando sua performance ao longo do tempo.

Figura 3. Curva de compactação



Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação à resistência mecânica de acordo com o ensaio apresentado na figura 4, os resultados médios apontaram diferenças significativas entre os grupos

com e sem fibra de sisal. Nos ensaios de tração por compressão diametral, o solo sem adição de fibras apresentou resistência média de 0,212 MPa, enquanto os corpos de prova com adição de 0,5% em massa de fibra de sisal atingiram média de 0,262 MPa, evidenciando um aumento da ordem de aproximadamente 24%. Já no ensaio de compressão simples, os valores médios foram de 1,032 MPa para os corpos de prova sem fibra e 1,365 MPa para aqueles com fibra, representando um aumento de cerca de 32% no quadro 4. Em média, os valores de resistência à compressão após a adição da fibra estariam dentro dos parâmetros exigidos. De acordo com a ABNT NBR 17014/2022, a resistência à compressão deve ser de, no mínimo, 1,3 MPa. Contudo, a norma estabelece que a verificação não deve ser feita com base na média, mas sim considerando o menor valor obtido nos quadros 5, quadro 6 e quadro 7, ajustado pelo fator de incerteza em função da quantidade de corpos de prova. Assim, a análise deve ser realizada com base no valor mínimo de resistência, tanto para as amostras sem sisal quanto para aquelas com adição da fibra.

Figura 4. Rompimentos dos corpos de prova



Fonte: Autor

Quadro 4. Resultados médios de resistência dos corpos de prova

Ensaio	Carga (kgf)	Tensão (MPa)
Compressão diametral (sem fibra)	424,25	0,212
Compressão diametral (com fibra)	525	0,262
Compressão axial (sem fibra)	826,5	1,032
Compressão axial (com fibra)	1093,75	1,365

Fonte: Elaborado pelo autor

Mesmo com valor acima do 1,3 MPa indicado ainda é necessário utilizar o fator de incerteza onde os valores mínimos são levados em consideração para compressão obtidos são:

Quadro 5 . Resultados de resistência mínima dos corpos de prova

<b>Ensaio</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
Sem fibra	711	78,54	9,06	0,888
Com fibra	1029	78,54	13,10	1,285

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6. Resistência à compressão corrigida dos corpos de prova

<b>Ensaio</b>	<b>fc1 (MPa)</b>	<b>fck,est= <math>\phi \times</math> fc1(MPa)</b>
Sem fibra	0,888	0,746
Com fibra	1,285	1,079

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7. Resultados de resistência corrigida corpos de prova diametral

<b>Ensaio</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Força (N)</b>	<b>fc1 (MPa)</b>	<b>fck,est= <math>\phi \times</math> fc1(MPa)</b>
Sem fibra	367	3597,04	0,1832	0,1549
Com fibra	551	5403,46	0,2751	0,2311

Fonte: Elaborado pelo autor

Embora a adição de 0,5% em massa de fibra de sisal tenha promovido um aumento significativo na resistência mecânica, tanto nos ensaios de compressão diametral quanto simples, é importante destacar que os valores mínimos corrigidos ainda ficaram abaixo do limite mínimo de 1,3 MPa estabelecido pela ABNT NBR 17014. Isso indica que, apesar do efeito positivo das fibras como reforço natural, a dosagem utilizada pode não ser suficiente para garantir a resistência necessária para aplicações estruturais mais exigentes. A dispersão dos resultados, evidenciada pela necessidade do uso do fator de incerteza e da análise dos valores mínimos em vez da média, reforça a importância de avaliações criteriosas na interpretação dos

dados, evitando conclusões precipitadas baseadas apenas em médias estatísticas. Além disso, a influência da distribuição e aderência das fibras na matriz de solo pode ser um fator limitante para a eficiência do reforço, o que sugere a necessidade de estudos adicionais que investiguem diferentes percentuais de fibras, tratamentos prévios ou combinações com estabilizantes químicos. Por fim, a melhora observada na resistência à tração indireta, embora ainda sem parâmetros normativos específicos, abre perspectivas para usos alternativos da taipa reforçada, principalmente em situações onde pequenas tensões de tração possam ocorrer, ampliando o campo de aplicação e a viabilidade técnica deste material sustentável.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados permitiu observar que o solo estudado, mesmo atendendo aos parâmetros normativos de granulometria, plasticidade e compactação para taipa de pilão, não alcançou, em seu estado natural, a resistência mínima recomendada para uso em construções seguras. Esse resultado evidencia a importância da busca por soluções complementares, como o uso de reforços naturais, para otimizar o desempenho dos materiais tradicionais em edificações de baixo custo.

A adição de 0,5% de fibra de sisal ao solo proporcionou um aumento significativo da resistência tanto à compressão simples quanto à tração por compressão diametral. Os valores médios passaram de 1,032 MPa para 1,365 MPa na compressão simples e de 0,212 MPa para 0,262 MPa na compressão diametral. Esse incremento demonstra o potencial do sisal, um recurso amplamente disponível no semiárido nordestino, como alternativa viável e sustentável para o reforço de paredes de taipa de pilão.

Além de contribuir tecnicamente para o aumento da resistência mecânica do solo, o uso da fibra de sisal apresenta benefícios sociais e ambientais, ao propor o aproveitamento de resíduos industriais oriundos da fabricação de vassouras na cidade de Matureia-PB. Essa abordagem favorece a redução de impactos ambientais relacionados ao descarte inadequado desses materiais e estimula práticas de economia circular e desenvolvimento regional.

Contudo, condições de campo, variações climáticas, processos construtivos e manutenção ao longo do tempo podem influenciar o comportamento estrutural das paredes de taipa de pilão reforçadas com sisal, em consonância que mesmo após a adição da fibra a resistência mínima não alcançou o valor de 1,3 MPa.

Diante disso, recomenda-se a realização de estudos complementares, incluindo, análises de durabilidade e desempenho a longo prazo, além da avaliação do comportamento das construções sob condições reais de uso e exposição. Tais investigações poderão consolidar o uso do sisal como solução técnica eficiente e sustentável para a arquitetura em terra no semiárido brasileiro.

Por fim, o estudo reforça que a integração de saberes tradicionais e soluções tecnológicas de baixo custo pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de moradias mais adequadas às condições ambientais, sociais e

econômicas da região, aliando sustentabilidade, eficiência e valorização dos recursos locais.

## REFERÊNCIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739:2018 — Concreto — **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222:2011 — Concreto e argamassa — **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459:2016 — Solo — **Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180:2016 — Solo — **Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181:2016 — Solo — **Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182:2016 — Solo — **Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17014:2022 — Solo — **Requisitos para execução de paredes monolíticas de terra crua — Taipa de pilão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Emenda Constitucional nº 26, de 14 de fevereiro de 2000**. Altera a redação do art. 6º da Constituição Federal. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 15 fev. 2000. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/emecon/2000/emendaconstitucional-26-14-fevereiro-2000-374043-publicacaooriginal-1-pl.html> Acesso em: 27 jul. 2025.

CORDEIRO, Martha Eleonora Venâncio Mignot; CONCEIÇÃO, Patrícia Marluci da; LIMA, Thiago Vicente. **A educação ambiental e o uso do solo-cimento**. Vértices, Campos dos Goytacazes, v. 8, n. 1, p. 35–54, 2006.

CORRÊA, A. A. R. et al. **Propriedades mecânicas do adobe com incorporação de partículas de *Bambusa vulgaris vittata***. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 5., 2019. Lavras: [s.n.], 2019.

COSTA, I. B. da; MESQUITA, H. M. **Tipos de habitação rural no Brasil**. Rio de Janeiro: Superintendência de Recursos Naturais e Humanos, 1978.

COSTA, R.; MELLO, F. **Resistência de paredes em taipa de pilão estabilizada**. *Revista Brasileira de Construção Sustentável*, v. 12, n. 1, p. 45-58, 2023.

DAMATTA, Roberto. **A casa & a rua: espaço, cidadania, mulher e morte no Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Rocco, 1997.

FARIA, O. B. et al. **Avaliação de desempenho térmico de paredes de adobe, blocos de concreto e blocos cerâmicos de acordo com a norma ABNT NBR 15220:2005**. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 5., 2019, Lavras. Anais [...]. Lavras: [s.n.], 2019.

FARIA, Juliana Prestes Ribeiro de. **Influência africana na arquitetura de terra de Minas Gerais**. 2011. 264 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

FEITOSA, Carlos Eduardo. **Arquitetura vernacular no semiárido: tipologias construtivas e sua aplicação contemporânea**. In: ENCONTRO DE ESCOLAS E FACULDADES DE ARQUITETURA PÚBLICAS DA AMÉRICA DO SUL (ARQUISUR), 25., 2022, João Pessoa. Anais [...]. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2022. Disponível em: [https://www.sisgeenco.com.br/anais/arquisur/2022/arquivos/GT4\\_COM\\_313\\_411\\_20220906050015.pdf](https://www.sisgeenco.com.br/anais/arquisur/2022/arquivos/GT4_COM_313_411_20220906050015.pdf). Acesso em: 04 jul. 2025.

FONSECA DA SILVA, H. E. et al. **Estudo da viabilidade do uso de fibras naturais como reforço de solos**. Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges, 2019. doi:10.3233/STAL190200.  
HENRIQUE, Charles de Almeida; HENRIQUE, Letícia de Almeida. **A Taipa de Pilão como Material de Construção: Estudo de Caso na Fazenda Boa Esperança, em Rio Piracicaba-MG**. Discursos Fotográficos, [S. l.], v. 8, n. 12, p. 149-169, 2012.

KOZIEL, Eliz Karina. **Estudo da viabilidade de um solo de Campo Mourão, com adição de areia, para uso em paredes de taipa de pilão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/32111>. Acesso em: 9 ago. 2025.

LEMOS, Carlos A. C. **Alvenaria burguesa: breve história da arquitetura residencial de tijolos em São Paulo a partir do ciclo econômico liderado pelo café**. 2. ed. rev., ampl. São Paulo: Nobel, 1989.

LOPES, W. G. R.; CARVALHO, T. M. P.; MATOS, K. C.; BRAGA, T. M. **Avaliação de casa de taipa de mão em Teresina, Piauí**. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 3., 2010, Campo Grande. Anais... Campo Grande: TerraBrasil/UFMS, 2010. p. 288-298. Disponível em: <https://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2020/08/Livro-TerraBrasil-2010.pdf>.

MEDEIROS, Raimundo Mainar de; FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; MATOS, Rigoberto Moreira de; SANTOS, Djail; SOUSA, Thiago Pereira de. Caracterização agroclimática e aptidão de culturas para diferentes municípios e regiões da Paraíba. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 11, n. 2, p. 99-110, abr./jun. 2015. Disponível em: <http://www.cstr.ufcg.edu.br/acsa>. Acesso em: 25 ago. 2025.

MAGARAIA, J. D. M.; ISEWAKI, N. T. **Análise do solo com reforço de fibras de sisal**. Patos de Minas: UNIPAM, 2021.

MILANEZ, A. **Casa de terra**: as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo. 1. ed. Rio de Janeiro: Serviço Especial de Saúde Pública, 1958.

PATSAYEV, Gilbert. **Agave sisalana, o ouro verde do sertão: O mundo do trabalho e os espaços de resistência narrados pela memória dos velhos sisaleiros do semi-árido paraibano (1970-1990)**. In: Anais do Simpósio Nacional de História, 2011. Disponível em: [http://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1308129272\\_ARQUIVO\\_ARTIGO\\_SNH2011TEXTOREVISTO.pdf](http://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1308129272_ARQUIVO_ARTIGO_SNH2011TEXTOREVISTO.pdf). Acesso em: 27/07/2025.

QUEIROGA, Vicente de Paula (org.); SILVA, Odilon Reny Ribeiro Ferreira da (org.); MEDEIROS, José da Cunha (org.); FRANCO, Camilo Flamarion de Oliveira (org.). **Sisal (Agave sisalana, Perrine): tecnologias de plantio e utilização**. 1. ed. Campina Grande: AREPB, 2021. 217 f.: il. color. ISBN 978-65-87070-09-4.

RODRIGUES, L.; FEIBER, A. **Conforto térmico e sustentabilidade em construções em terra crua no semiárido**. Revista Brasileira de Engenharia Sustentável, v. 7, n. 1, p. 78-89, 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE IMUNOLOGIA – SBI. **Conheça a história da Doença de Chagas**. Especial Doença de Chagas, 15 abr. 2024. Disponível em: <https://sbi.org.br/especial-doenca-de-chagas/conheca-a-historia-da-doenca-de-chagas/>. Acesso em: 4 jul. 2025.

VERALDO, A. C. et al. **Análise do processo de produção de paredes maciças de solo estabilizado a partir do uso de mecanização**. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL, 5., 2019, Lavras: [s.n.], 2019.

ZORZAN, L. G. et al. **Propriedades e índices físicos de solos**. Versão 01, mar. 2019. 50 p. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <https://dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2020/01/APOSTILA-PROPRIEDADES-E-%C3%8DNDICES-F%C3%8DSICOS-DE-SOLOS.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2025.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Patos - Código INEP: 25281925
	Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Trabalho de conclusão de curso

<b>Assunto:</b>	Trabalho de conclusão de curso
<b>Assinado por:</b>	Jose Pedrosa
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jose Ricardo Tomas Pedrosa**, ALUNO (201926550021) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS, em 01/09/2025 09:36:51.

Este documento foi armazenado no SUAP em 01/09/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1592372

Código de Autenticação: 0265e9ea3e

