

---

**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

**O solo como material de construção sustentável nas  
comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique**

Tárcia Absalão Novele

Orientadora | Isabel Maria Ratola Duarte

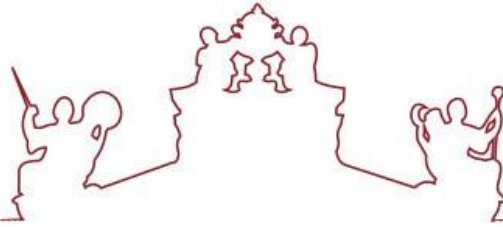
Évora 2023

---

---

---

---



---

**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Engenharia Geológica

Dissertação

**O solo como material de construção sustentável nas  
comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique**

Tárcia Absalão Novele

Orientadora | Isabel Maria Ratola Duarte

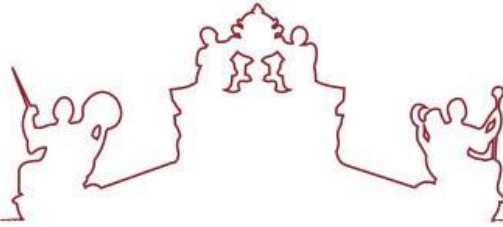
Évora 2023

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | António Bastos de Pinho (Universidade de Évora)

Vogais | Isabel Maria Ratola Duarte (Universidade de Évora) (Orientadora)  
Paula Alexandra Gonçalves Faria (Universidade de Évora) (Arguente)

Évora 2023

---

---

---

---

## **Dedicatória**

*À minha família, pelo apoio incondicional em todas minhas escolhas!*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus, pela graça de frequentar este mestrado e pela inspiração para escrever esta dissertação.

*"Pois tudo é Dele, por Ele e para Ele.*

*A Ele seja dada a glória para sempre! Amém." (Romanos 11,36)*

À Professora Doutora Eng<sup>a</sup>. Isabel Maria Ratola Duarte pelo acolhimento e pela orientação para elaboração desta dissertação.

Aos Professores do Departamento de Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora, António Pinho, Júlio Carneiro, Luís Lopes, Rúben Martins pela receptividade e partilha de conhecimento.

À Mayra Pereira pelas contribuições dadas para a elaboração desta dissertação.

Ao Laboratório de Engenharia de Moçambique, E.P. (LEM), pelo apoio e colaboração concedida durante a realização dos ensaios e testes no âmbito deste estudo. Pela disponibilidade em fornecer o ambiente e os equipamentos necessários, para a realização de análises e experiências essenciais para compreender o comportamento geotécnico dos diferentes tipos de solos encontrados na região do Distrito de Moamba.

Agradecimento especial aos técnicos do LEM, Paulo Mandlate, Arsénio, Félix, Mula, Isabel e Eng<sup>o</sup>. Gonçalves pelo apoio dado durante a realização dos ensaios.

## RESUMO

### **O Solo Como Material de Construção Sustentável nas Comunidades Rurais da Província de Maputo, Moçambique**

A utilização mundial do solo como material de construção abrange cerca de 60% da população global incluindo mais de 10% dos monumentos reconhecidos como Património Mundial. Em Moçambique, a construção com solo é uma tradição cultural enraizada há séculos. No entanto, o estudo dessas construções é limitado devido à percepção negativa associada, considerando-as como estruturas precárias e pouco atrativas.

Esta dissertação tem como objetivo principal analisar o comportamento geotécnico de diferentes tipos de solos, com e sem reforço, para desenvolver técnicas construtivas sustentáveis e resilientes às alterações climáticas nas comunidades rurais do Distrito de Moamba, na Província de Maputo. A pesquisa envolveu amostragem, ensaios de campo e laboratoriais nos solos.

Identificaram-se predominantemente dois tipos de solo: areias argilosas e areias siltosas. As areias argilosas são preferidas para construções locais devido à sua composição equilibrada. Os solos siltosos possuem limitações de plasticidade e moldabilidade, tornando-os menos adequados para construções em terra. Resultados obtidos com adobes fabricados a partir desses solos sugerem que as areias argilosas são mais viáveis, especialmente quando reforçadas com capim.

**Palavras-chave:** Solo, Construção, Geotecnia, Sustentabilidade, Alterações Climáticas.

## **ABSTRACT**

### **Soil as Sustainable Construction Material in the Rural Communities of Maputo Province, Mozambique**

The use of soil as a building material is widespread globally, accommodating around 60% of the world's population including over 10% of the monuments listed as World Heritage Sites. In Mozambique, soil-based construction is a culturally rooted tradition that spans centuries. However, the study of such constructions is limited due to the negative perception associated, deeming them as precarious and unappealing structures.

This dissertation's primary objective is to analyze the geotechnical behavior of different types of soils, with and without reinforcement, in order to develop sustainable and climate-resilient construction techniques in the rural communities of the Moamba District, in the Maputo Province. The research involved sampling and *in situ* and laboratory tests on the soils.

Analyses predominantly identified two types of soil: clayey sands and silty sands. Clayey sands are preferred for local construction due to their balanced composition. However, silty soils have limitations in terms of plasticity and moldability, making them less suitable for earth-based construction. Adobes made from these soils suggest that clayey sands are more viable, especially when reinforced with grass.

**Keywords:** Soil, Construction, Geotechnical, Sustainability, Climate Change.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUÇÃO .....	2
1.1. Contextualização.....	2
1.2. Objetivo.....	3
1.2.1. Objetivos específicos .....	3
1.3. Estrutura da Dissertação .....	4
<b>CAPÍTULO II: O SOLO E A CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>5</b>
2. O SOLO E A CONSTRUÇÃO.....	6
2.1. O Solo: Formação e Origem .....	6
2.2. Características do Solo.....	8
2.3. Tipos de Solos.....	9
2.3.1. Tipos de solos quanto à origem .....	9
2.3.2. Tipos de solos quanto às características físicas, químicas e biológicas.....	10
2.4. Solo Como Material de Construção.....	11
2.5. Construção em Terra.....	12
2.5.1. Contexto histórico.....	13
2.5.1.1. Construção em terra na Europa e Ásia.....	15
2.5.1.2. Construção em terra na América.....	16
2.5.1.3. Construção em terra na África .....	17
2.5.1.4. Construção em terra em Moçambique .....	20
2.5.1.5. Construção em terra na Província de Maputo.....	22
2.5.2. Vantagens e desvantagens da construção em terra .....	25
2.5.3. Técnicas da construção em terra .....	27
2.5.3.1. Adobe.....	28
2.5.3.2. Blocos de terra comprimida – BTC .....	31
2.5.3.3. Taipa .....	33
2.5.3.4. Pau-a-pique .....	34
2.5.4. Patologias associadas à construção em terra.....	35
2.6. Construção em Terra e Sustentabilidade.....	37
2.7. Construção em Terra e Alterações Climáticas.....	39
<b>CAPÍTULO III: ENQUADRAMENTO FÍSICO E SOCIAL .....</b>	<b>42</b>



3. ENQUADRAMENTO FÍSICO E SOCIAL .....	43
3.1. Enquadramento Físico .....	43
3.1.1. Geografia.....	43
3.1.2. Clima e hidrografia .....	44
3.1.3. Geologia e geomorfologia.....	44
3.1.4. Fisiografia, solos e vegetação .....	48
3.2. Enquadramento Social .....	50
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGIA .....</b>	<b>53</b>
4. METODOLOGIA .....	54
4.1. Revisão Bibliográfica.....	54
4.2. Trabalho de Campo e Amostragem .....	55
4.2.1. Visitas de reconhecimento do campo .....	56
4.2.2. Entrevistas semiestruturadas.....	56
4.2.3. Colheita de amostra.....	57
4.2.4. Ensaio expeditos <i>in-situ</i> .....	59
4.3. Análises de Laboratório .....	62
4.3.1. Análise granulométrica .....	62
4.3.1.1. Peneiração seca .....	62
4.3.1.2. Sedimentação .....	64
4.3.2. Densidade das partículas.....	65
4.3.3. Limites de consistência .....	66
4.3.3.1. Limite de liquidez .....	67
4.3.3.2. Limite de plasticidade .....	67
4.3.4. Ensaio de compactação Proctor .....	68
4.3.5. Ensaio de expansibilidade.....	69
4.4. Produção de Adobe .....	70
4.5. Análise, Interpretação e Compilação do Relatório Final .....	73
4.6. Limitações.....	74
<b>CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	76
5.1. Ensaio Expeditos <i>In Situ</i> .....	76
5.2. Ensaio de Laboratório .....	81
5.3. Produção Experimental de Adobes.....	90

<b>CAPÍTULO VI: CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>95</b>
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	96
6.1. Considerações Finais .....	96
6.2. Recomendações.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS .....	106
ANEXO 1: Guião Para Entrevistas na Comunidade.....	107
ANEXO 2: Guião de Campo .....	110
ANEXO 3: Ensaios Expeditos <i>In Situ</i> – Processamento de Dados .....	111
ANEXO 4: Ensaios de Laboratório – Processamento de Dados .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1:</b> Processos de formação do solo e os diferentes tipos de alteração. Fonte: Santiago, 2001.....	7
<b>Figura 2-2:</b> Horizontes principais do solo (adaptado de LEPSCH, 2010, citado em Neves e Milani, 2011).....	8
<b>Figura 2-3:</b> Estágios de desenvolvimento de um solo, com os horizontes principais (Lepsch, 2010, citado em Neves e Milani, 2011).....	8
<b>Figura 2-4:</b> Origem dos diferentes tipos de solos. Fonte: Santiago, 2001.....	10
<b>Figura 2-5:</b> Distribuição das construções em terra pelo mundo. Fonte: CRAterre, 1979, citado em Wachilala, 2018.....	13
<b>Figura 2-6:</b> a) Aldeia de Ait-Ben-Haddou, em Marrocos; b) Cidadela de Chan Chan, no Peru; c) Mesquita de Djenné, no Mali; e d) Cidade antiga de Shibam, no Iêmen. Fonte: UNESCO, 2018, citado em Cordeiro et. al., 2019.....	14
<b>Figura 2-7:</b> A grande muralha da China. <a href="https://www.adventureclub.com.br/blog/conheca-a-historia-e-curiosidades-da-grande-muralha-da-china/">https://www.adventureclub.com.br/blog/conheca-a-historia-e-curiosidades-da-grande-muralha-da-china/</a> .....	16
<b>Figura 2-8:</b> Pirâmide do Sol de Teotihuacan, México (Pacheco-Torgal et al., 2009 em Wachilala, 2018).....	17
<b>Figura 2-9:</b> Vale do Draa, Marrocos (250 anos) (Guerreiro, 2009 em Wachilala, 2018).....	18
<b>Figura 2-10:</b> A Grande Mesquita de Djenné, atualmente a maior obra em terra crua, construída em adobe, Mali (1280 d.C.) (África Ocidental). (Jahn, 2005; Williams e Kniveton, 2011, citado em Wachilala, 2018).....	19
<b>Figura 2-11:</b> Construções em terra feitas de adobe, típicas das zonas centro e norte de Moçambique. Fonte: Ribeiro, 2015.....	21
<b>Figura 2-12:</b> Casas de pau-a-pique típicas da construção em terra em Moçambique. Fonte: Ribeiro, 2015.....	21
<b>Figura 2-13:</b> Construção do tipo pau-a-pique existente na localidade de Goane 1, no Distrito de Moamba. Fonte: Autora, 2023.....	23
<b>Figura 2-14:</b> Uso do solo como material de cobertura da estrutura feita de caniço e bambu. Fonte: Tércia Novele, 2023.....	24
<b>Figura 2-15:</b> Construção de pau-a-pique revestida de cimento. Fonte: Tércia Novele, 2023.....	25
<b>Figura 2-16:</b> Diferentes tipos de utilização do solo como material de construção (Houben e Guillaud, 1989, citado em Inácio, 2016).....	28
<b>Figura 2-17:</b> Produção dos adobes (Duarte, 2013).....	29
<b>Figura 2-18:</b> Alguns exemplos da variedade de BTC: a) Maciço de superfície lisa; b) Maciço com encaixes – “Bloco Mattone” (Mattone, 2007); c) Com furos; d) Com furos e encaixe. Fonte: (Duarte, 2013).....	32
<b>Figura 2-19:</b> a) Parede revestida de solo argiloso apresentando fissuras de retração da argila. b) Estrutura de madeira danificada por térmitas (murmuché). Fonte: Tércia Novele, 2023.....	37
<b>Figura 3-1:</b> Mapa de localização da zona de estudo, elaborado com base nos shapefiles da CENACARTA, 2016.....	43
<b>Figura 3-2:</b> Mapa geológico da zona de estudo, elaborado a partir dos dados da CENACARTA.....	48

<b>Figura 3-3:</b> Mapa de solos da zona de estudo, elaborado a partir dos dados da CENACARTA.	50
<b>Figura 3-4:</b> Distribuição das casas ao longo da zona de estudo.....	52
<b>Figura 4-1:</b> Organograma da metodologia seguida. ....	54
<b>Figura 4-2:</b> Localização dos pontos de amostragem. Elaborado por: Tércia Novele, 2023 .....	57
<b>Figura 4-3:</b> a) Processo de amostragem. b) Amostra devidamente referenciada. c) Amostra de solo transformada por murmuché. ....	58
<b>Figura 4-4:</b> Solos identificados no campo. ....	59
<b>Figura 4-5:</b> Teste da queda da bola. a) Amostra 1. b) Amostra 2. c) Amostra 3. ....	60
<b>Figura 4-6:</b> Teste de brilho. a) Amostra 1. b) Amostra 2. c) Amostra 3.....	60
<b>Figura 4-7:</b> Teste de retração. ....	61
<b>Figura 4-8:</b> Teste de sedimentação de garrafa. a) Amostra 1. b) Amostra 2. c) Amostra 3. ....	61
<b>Figura 4-9:</b> Processo de análise granulométrica por peneiração seca: a) Preparação da amostra para o ensaio. b) Primeira secagem das amostras na estufa a uma temperatura de 110 °C durante 24 horas. c) Imersão das amostras na água durante 24 horas. c) Pesagem das amostras após a lavagem e secagem na estufa. d) Série de peneiros utilizados para a peneiração das amostras de solo. f) Processo de separação do material retido nos peneiros para posterior pesagem.....	64
<b>Figura 4-10:</b> Processo de análise granulométrica por sedimentação: a) Preparação das amostras. b) Crivagem da amostra no peneiro n.º 10. c) Pesagem da amostra que passou do peneiro n.º 10. d) Homogeneização das amostras nos copos de pirex com a solução de hexametáfosfato de sódio. e) Coleta da água que passou do peneiro n.º 200 para a proveta de 1000 ml. f) Densímetro utilizado para o processo da leitura das densidades em intervalos de tempo diferentes.....	65
<b>Figura 4-11:</b> Realização do ensaio para determinação da densidade das partículas dos solos: a) Pesagem do picnómetro e adição da água destilada. b) Solo em repouso depois da ebulição por 15 minutos. c) Provetes de solo depois de seco na estufa.....	66
<b>Figura 4-12:</b> Realização do ensaio para determinação do limite de liquidez nos solos amostrados. ....	67
<b>Figura 4-13:</b> Ensaio de compactação do tipo proctor a) Pesagem do solo. b) Processo de compactação com o pilão pesado. d) Provette do solo retirado do molde. ....	69
<b>Figura 4-14:</b> Ensaio de expansibilidade: a) Preparação da amostra para compactação; b) Leituras da expansibilidade com defletómetro. ....	70
<b>Figura 4-15:</b> Processo de produção de adobes: a) Preparação do solo; b) Molde de madeira e material de reforço utilizado; c) Mistura do material; d) Adobes expostos ao sol para secar. ....	71
<b>Figura 4-16:</b> Realização do ensaio de resistência dos adobes: a) Preparação dos adobes para pesagem; b) Colocação do adobe na Prensa de Compressão Universal; c) Compressão uniaxial sobre o adobe; d) Rotura do adobe. ....	72
<b>Figura 5-1:</b> Distribuição granulométrica dos solos pela técnica de peneiração seca. ....	82
<b>Figura 5-2:</b> Resultados do ensaio de granulometria conjunta.....	84
<b>Figura 5-3:</b> Resultados do ensaio para determinação do Limites de Liquidez. ....	85
<b>Figura 5-4:</b> Classificação dos solos de acordo com a carta de plasticidade. ....	86
<b>Figura 5-5:</b> Curvas de compactação para as amostras 1 e 3. ....	89
<b>Figura 5-6:</b> Adobe deformado antes do tempo de cura.....	92

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 3-1:</b> Cronostratigrafia do Pré Quaternário no Sul de Moçambique (Foster, 1975; Cilek, 1982; King, 1976; Dingle et al., 1983, citados em INIA e DTA, 1993).....	46
<b>Tabela 3-2:</b> Método de construção das casas de pau-a-pique. ....	52
<b>Tabela 4-1:</b> Peneiros utilizados na análise granulométrica e respectivas aberturas de malha. ....	63
<b>Tabela 4-2:</b> Classificação dos solos segundo o índice de plasticidade. ....	68
<b>Tabela 5-1:</b> Resultados dos ensaios in situ. ....	77
<b>Tabela 5-2:</b> Resultados do ensaio de sedimentação com garrafa. ....	79
<b>Tabela 5-3:</b> Resultados do ensaio de retração. ....	80
<b>Tabela 5-4:</b> Resultados do ensaios de granulometria, densidade de partículas, limites de consistência e expansibilidade. ....	88
<b>Tabela 5-5:</b> Resultados do ensaio de compactação. ....	89
<b>Tabela 5-6:</b> Produção experimental dos adobes. ....	91
<b>Tabela 5-7:</b> Resultados do ensaio de resistência à compressão. ....	93

## ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA

ASTM	American Society for Testing and Materials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BTC	Blocos de Terra Comprimida
BS	Clima semiárido ou clima de estepe
BSW	Clima árido ou desértico
CL	Argilas inorgânicas com plasticidade variando de baixa a média
CRATerre	Centre International de la Construction en Terre
LEM	Laboratório de Engenharia de Moçambique
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NBR	Norma Técnica
NP	Norma Portuguesa
NZS	<i>New Zealand Standard</i>
SC	Areias argilosas e misturas de areia e argila, com características mal graduadas
SM	Areias siltosas e mistura de areia e silte mal graduadas
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
PVC	Policloreto de Vinil
ONU	Organização das Nações Unidas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
°C	Graus Centígrados
cm	Centímetros
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
g	Gramas
g/cm <sup>3</sup>	Gramas por centímetro cúbico
n°	Número
m	Metros
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mm	Milímetros
MPa	Megapascal
kg	Quilogramas
km	Quilómetros
km <sup>2</sup>	Quilómetros quadrados
O <sub>2</sub>	Oxigénio
pH	Potencial Hidrogeniônico
a.C	Antes de Cristo
II	Dois
°	Grau
,	Minuto
%	Porcentagem

## CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

---

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

Desde tempos remotos, a humanidade tem buscado soluções para construir habitações e estruturas que atendam às necessidades básicas de abrigo e conforto. Inicialmente, utilizavam-se materiais naturais, como terra, pedra, madeira e fibras vegetais (Branco, 2005). No entanto, ao longo do tempo, constatou-se que esses materiais apresentavam limitações em termos de resistência, especialmente diante das variações climáticas. Isso levou à necessidade de desenvolver técnicas e tecnologias de construção mais duráveis e resilientes.

Infelizmente, a aplicação dessas novas técnicas e tecnologias na indústria da construção tem contribuído significativamente para o aumento das alterações climáticas. Durante o processo de construção, especialmente na produção dos materiais modernos, são emitidas grandes quantidades de gases de efeito estufa, sendo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente da queima de combustíveis fósseis o principal agente causador desse problema (Sengupta, 2008). Como resultado, esforços estão sendo feitos à escala global para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, por meio da adoção de tecnologias menos poluentes. Atualmente, cerca de 40% das emissões de gases de efeito estufa estão relacionadas à indústria da construção.

No contexto das alterações climáticas, existe um objetivo internacional de limitar o aquecimento global a menos de 2 °C (Stephenson, 2019). Esse objetivo tem motivado a busca por medidas de mitigação e adaptação em diversos países, especialmente em nações em desenvolvimento como Moçambique, que têm sofrido com os impactos dos desastres naturais decorrentes do aquecimento global. Nesse sentido, uma medida promissora que pode ser implementada é o desenvolvimento da construção sustentável e resiliente, com a utilização de materiais de construção sustentáveis.

A utilização do solo como material de construção pode, de fato, contribuir para a sustentabilidade da construção. Além de proporcionar economia de energia, especialmente quando o solo utilizado é proveniente do próprio local de construção, o solo pode retornar à natureza após o fim da vida útil da edificação. A construção com solo apresenta ainda vantagens em termos de salubridade, uma vez que é um material natural, livre de substâncias tóxicas, e possui boas propriedades higrotérmicas que permitem a respiração do edifício, evitando condensações e proporcionando maior conforto térmico em seu interior, resultando em economia de energia tanto para aquecimento quanto para refrigeração.

A construção com solo está presente nos cinco continentes, abrigando cerca de 60% da população mundial e compreendendo mais de 10% dos monumentos listados como Património Mundial da Humanidade. Seu desenvolvimento recente é resultado de sua sustentabilidade económica, social e ambiental, associada a níveis quase nulos de poluição e a um ambiente interno com níveis de humidade benéficos para a saúde humana. Essas características conferem à construção com solo vantagens competitivas que lhe garantem um futuro promissor e competitivo em relação à construção convencional (Botinas, 2017). Entre as técnicas de construção com solo em todo o mundo, destacam-se a taipa, o adobe, o bloco de terra compactada (BTC) e a taipa de mão ou pau-a-pique.



Em Moçambique, a construção com solo é uma herança cultural que tem sido desenvolvida ao longo de séculos. Antes da era colonial, predominavam no país as casas feitas de solo, adobes, pau-a-pique e cobertas de palha, tradicionalmente conhecidas como palhotas. Com a chegada dos portugueses no final do século XV, as técnicas de construção com solo evoluíram, incorporando elementos mais sofisticados, como é o caso dos BTC.

No Distrito de Moamba, localizado na Província de Maputo, a construção em terra é amplamente utilizada pelas comunidades locais para a construção de habitações e estruturas comunitárias. Na região rural de Moamba, as casas são frequentemente construídas utilizando a técnica de pau-a-pique, também conhecida como maticado. Além do maticado, outra técnica tradicional utilizada, embora não com muita frequência, é o adobe, que geralmente é utilizado nas paredes exteriores das construções.

No entanto, o estudo de construções em terra em Moçambique é deficitário, devido à percepção negativa associada a essas casas, consideradas precárias e não atraentes. Embora a construção em terra tenha sido estigmatizada como um sinal de pobreza e falta de recursos, há um ressurgimento de interesse nessa técnica construtiva, impulsionado pela necessidade de preservar o património existente e pelo reconhecimento da terra como um material sustentável.

No entanto, a falta de conhecimento técnico tem sido um obstáculo para aproveitar todo o potencial da construção em terra. Estudos e pesquisas globais têm buscado melhorar o desempenho dessas construções, com foco na segurança, conforto e na mitigação dos danos causados pelo tempo, como erosão e chuvas (Inácio, 2016). Diante desse contexto, este estudo propõe uma pesquisa aprofundada sobre a viabilidade e aplicação do solo como material de construção sustentável nas comunidades rurais do Distrito de Moamba, localizado na Província de Maputo, em Moçambique.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo é estudar e analisar o comportamento dos diferentes tipos de solos, com e sem reforço, a fim de desenvolver técnicas construtivas sustentáveis e resilientes, que possam servir como alternativas eficazes às práticas convencionais, contribuindo para a redução do aquecimento global e promovendo um futuro mais sustentável para as comunidades rurais do Distrito de Moamba. Os resultados dessa pesquisa terão o potencial de impulsionar avanços significativos no campo da construção em terra e sustentável em Moçambique.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos deste estudo incluem:

- Reconhecer os métodos de construção com terra atualmente empregados nas localidades rurais do Distrito de Moamba, situado em Maputo;
- Identificar os tipos de solos utilizados para a construção com terra nas comunidades rurais do referido Distrito;

- Realizar procedimentos de análise geotécnica *in situ* e em laboratório, de maneira ágil, para caracterizar os solos identificados;
- Executar experiências destinadas à produção de adobes, com o intuito de avaliar suas propriedades e comportamento.

### 1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é estruturada em seis capítulos que abordam diferentes aspectos relacionados com o estudo do solo como material de construção sustentável nas comunidades rurais da Província de Maputo, em Moçambique.

O primeiro capítulo é a Introdução, onde é feita uma contextualização do tema, destacando a escassez de pesquisas sobre construções em terra em Moçambique e a percepção negativa associada a essas habitações. Nesse capítulo, são apresentados os objetivos da dissertação, a relevância do estudo e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo, intitulado "O solo e a construção", é realizada uma revisão da literatura sobre as características do solo como material de construção. São discutidas suas vantagens e desafios, bem como as técnicas de construção empregadas e os aspectos relacionados com a segurança e o conforto habitacionais.

O terceiro capítulo é dedicado ao "Enquadramento físico e social", onde são apresentadas informações sobre a Província de Maputo, com ênfase para o Distrito de Moamba, suas características geográficas, condições climáticas e aspectos sociais relevantes para o estudo. São considerados fatores como o contexto rural, os recursos económicos disponíveis e as necessidades habitacionais das comunidades locais.

No quarto capítulo, "Metodologia", são descritos os procedimentos adotados para realizar a pesquisa. São apresentados os métodos de recolha de dados, as técnicas de amostragem utilizadas, os procedimentos experimentais realizados e os instrumentos de pesquisa empregados para obter informações relevantes sobre as construções em terra na região de estudo.

No quinto capítulo, "Apresentação e Discussão dos Resultados", são apresentados os dados colhidos durante a pesquisa. Os resultados são interpretados e discutidos com base nos objetivos da pesquisa e na revisão da literatura realizada. São identificados padrões, tendências e desafios relacionados com o uso do solo como material de construção sustentável, considerando aspectos de segurança, conforto e durabilidade das habitações.

No sexto capítulo, "Conclusões e recomendações", são apresentadas as principais conclusões derivadas da pesquisa realizada. São destacados os *insights* obtidos, as contribuições do estudo para o campo da construção sustentável e são fornecidas recomendações para aprimorar a aplicação do solo como material de construção nas comunidades rurais da Província de Maputo, que se podem indicar para Moçambique em geral.

## CAPÍTULO II: O SOLO E A CONSTRUÇÃO

---

## 2. O SOLO E A CONSTRUÇÃO

### 2.1. O Solo: Formação e Origem

O conceito de solo é multifacetado e pode ser definido de diferentes maneiras, dependendo do campo de aplicação em questão. Para este estudo, o solo é entendido como a camada de material não consolidado mais superficial da crosta terrestre, composta por partículas minerais, matéria orgânica, água e ar, e sua formação envolve processos geológicos, como a alteração das rochas, a erosão e a deposição de sedimentos (Brady et. al 2016).

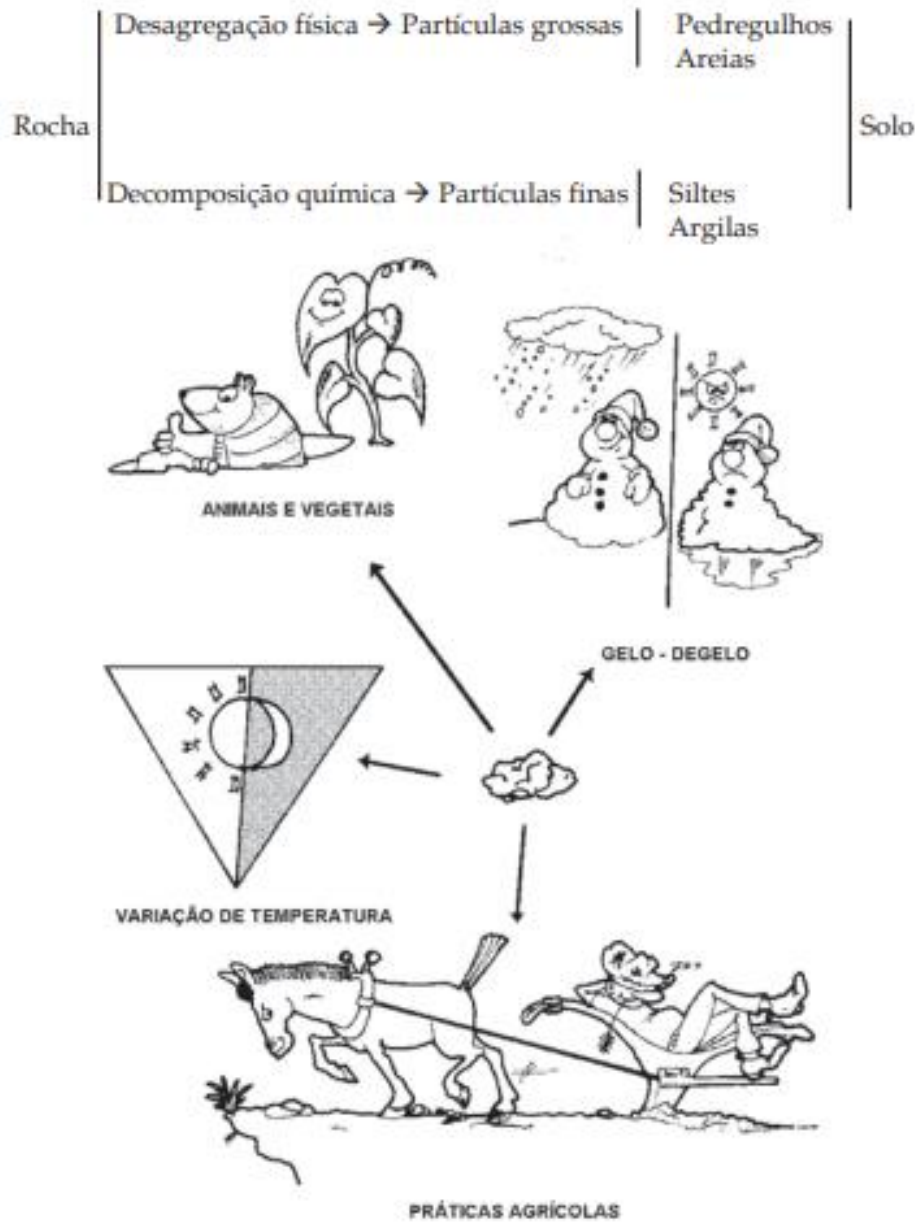
Ao processo de formação do solo dá-se o nome de pedogénese, e trata-se de um processo lento que demora centenas ou até milhares de anos para completar-se, dependendo quase que totalmente de fatores externos, como o clima, a água e até os ventos (Teixeira, 2009).

Os solos são formados pela interação do sol, chuva, vento, animais e crescimento de organismos sobre as rochas da crosta terrestre (Figura 2-1). Essa interação é chamada de alteração, que pode ser física, química ou biológica (Neves e Milani, 2011). O tipo de alteração influencia as características distintas dos solos.

A alteração física, que dá origem a pedregulhos e areias, corresponde à desestruturação física da rocha, que resulta no surgimento de discontinuidades chamadas de fraturas (Santiago, 2001). Nesse processo, os minerais que antes constituíam uma estrutura coesa se desagregam, tornando-a mais frágil e suscetível ao fracionamento e à quebra. Esse tipo de alteração pode auxiliar na aceleração da alteração química, uma vez que amplia a superfície exposta da rocha. A alteração física é especialmente comum em áreas de clima seco, particularmente nas que apresentam grande amplitude térmica diária.

A alteração química, que origina siltes e argilas, é um processo de decomposição química das rochas, caracterizado pela transformação dos minerais primários que a compõem em minerais secundários distintos (Santiago, 2001). Esse processo ocorre principalmente pela ação da água que contacta a rocha e reage com o oxigénio ( $O_2$ ), o  $CO_2$  e com os materiais orgânicos presentes nas fraturas da rocha, produzindo ácidos que levam à sua dissolução ou modificação dos minerais. Esse tipo de alteração é especialmente comum em áreas de clima húmido.

Por sua vez, a alteração biológica diz respeito ao processo de desagregação e/ou decomposição da rocha que ocorre devido à atuação de micro-organismos como bactérias, bem como pequenos animais e vegetais (Santiago, 2001). Esses organismos podem promover a decomposição química da rocha por meio de suas atividades metabólicas, além de exercerem uma ação mecânica ao penetrarem nas fraturas da rocha, promovendo o seu alargamento. A alteração biológica é um processo lento e pode levar centenas ou até milhares de anos para produzir resultados significativos na formação do solo (Bragança et al., 2017).



**Figura 2-1:** Processos de formação do solo e os diferentes tipos de alteração. Fonte: Santiago, 2001

De acordo com Neves e Milani (2011), um solo completo e bem desenvolvido é composto por diferentes camadas, conhecidas como horizontes principais, que são representados esquematicamente nas Figuras 2-2 e 2-3. Essas camadas apresentam características distintas e sua espessura pode variar consideravelmente de um solo para outro. Além disso, cada horizonte pode ser subdividido em sub-horizontes para uma melhor compreensão e descrição do solo.

Ao utilizar solo para construção, geralmente descarta-se o horizonte O, que corresponde à camada superficial rica em matéria orgânica. O horizonte A também pode ser inadequado para construção, dependendo de suas propriedades físicas e químicas. Nesse contexto, os horizontes mais adequados para uso na construção são o horizonte E e o horizonte B, que possuem características

favoráveis para a engenharia e são menos suscetíveis a problemas relacionados com a estabilidade e compressibilidade do solo (Neves e Milani, 2011).

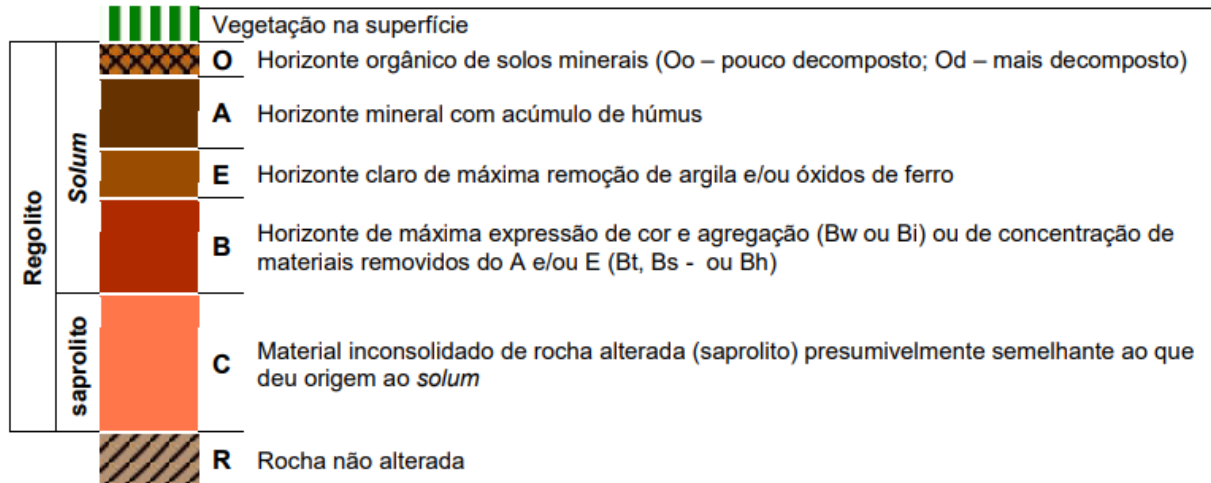


Figura 2-2: Horizontes principais do solo (adaptado de LEPSCH, 2010, citado em Neves e Milani, 2011)

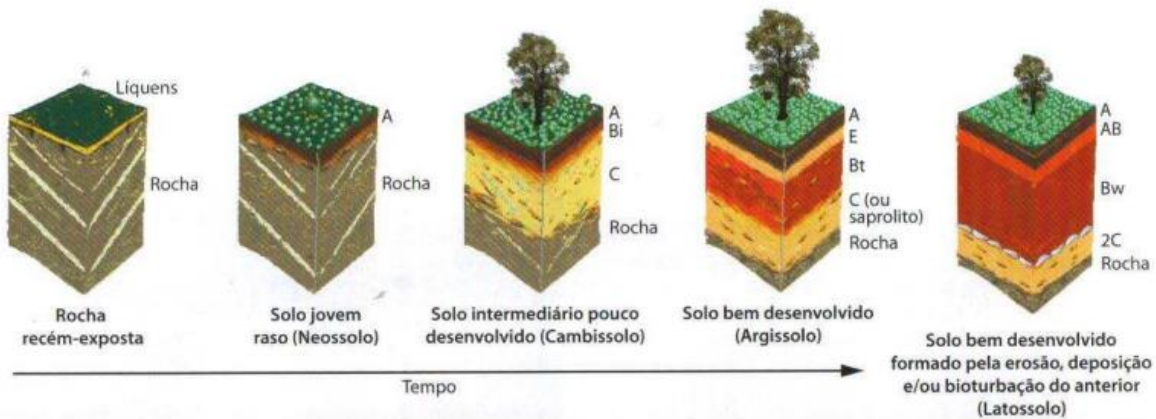


Figura 2-3: Estágios de desenvolvimento de um solo, com os horizontes principais (Lepsch, 2010, citado em Neves e Milani, 2011)

## 2.2. Características do Solo

As características específicas do solo são o resultado de factores ambientais, material de origem (rocha mãe), relevo, clima e o bioma (Gilluly *et al.*, 1975). As características dos solos podem ser agrupadas em diversas categorias, nomeadamente: características morfológicas, físicas, químicas e biológicas (Brady & Weil, 2016).

As características morfológicas dos solos são observáveis visualmente e incluem a cor do solo, a estrutura do solo, a textura do solo e espessura dos horizontes do solo. Essas características são

geralmente observadas em campo e fornecem informações sobre a aparência, a composição e a organização do solo. A descrição e a interpretação dessas características morfológicas são importantes para a classificação e a compreensão dos solos, bem como para a tomada de decisões em relação à engenharia geotécnica (Brady & Weil, 2016).

As características físicas dos solos referem-se às propriedades físicas que influenciam seu comportamento, como porosidade, densidade, permeabilidade e resistência à compressão. Essas características afetam a capacidade do solo de reter água, permitir a circulação de ar, resistir ao esforço mecânico e interagir com as estruturas construídas sobre ele.

As características químicas dos solos incluem o pH do solo, a presença de elementos tóxicos e quantidade de matéria orgânica. Essas características influenciam o grau de corrosão das estruturas assentes sobre o solo e a capacidade de reações químicas no solo.

As características biológicas dos solos envolvem a presença e a atividade de organismos vivos, como bactérias, fungos, vermes, insetos e raízes de plantas. A biomassa microbiana, a diversidade biológica e as interações ecológicas no solo são exemplos de características biológicas que afetam a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a saúde do ecossistema do solo (Brady & Weil, 2016).

## 2.3. Tipos de Solos

Os solos podem ser classificados de acordo com a sua origem, características físicas, químicas e biológicas.

### 2.3.1. Tipos de solos quanto à origem

Os solos podem ser classificados de acordo com sua origem (Figura 2-4) em diferentes tipos, sendo os principais (Embrapa Solos, 2011):

- **Solo Residual:** É formado *in situ*, ou seja, a partir da decomposição da rocha matriz que está localizada no local. Esse tipo de solo é comumente encontrado em regiões onde a alteração e a desintegração da rocha ocorreram ao longo de milhares ou milhões de anos.
- **Solo Transportado:** É formado a partir do transporte de material do solo de uma área para outra por agentes como água, vento ou gelo. Os solos transportados podem ser encontrados em vales de rios, deltas, áreas costeiras e regiões com ação glacial.
- **Solo Coluvial:** É formado a partir do acúmulo de material que foi transportado por gravidade, geralmente resultante da erosão de encostas. Esse tipo de solo é comum em áreas montanhosas ou colinas íngremes.
- **Solo Aluvial:** É formado pela deposição de sedimentos transportados por rios e cursos d'água. Esses solos são frequentemente encontrados em planícies de inundação e vales de rios, e são caracterizados por sua alta fertilidade devido aos nutrientes trazidos pela água.

- **Solo Lacustre:** É formado pela deposição de sedimentos em lagos e lagoas. Esses solos são comumente encontrados em áreas onde havia corpos de água no passado, como antigas bacias lacustres ou regiões costeiras.
- **Solo Marinho:** É formado pela deposição de sedimentos marinhos em áreas costeiras. Esses solos são influenciados pela ação das marés e podem variar em termos de textura e conteúdo mineral.
- **Solo Glacial:** É formado pela ação do gelo em movimento, que transporta e deposita sedimentos durante os períodos glaciais. Esses solos são encontrados em áreas que foram afetadas por geleiras e apresentam características distintivas, como depósitos de morainas e sedimentos de granulometria variada.

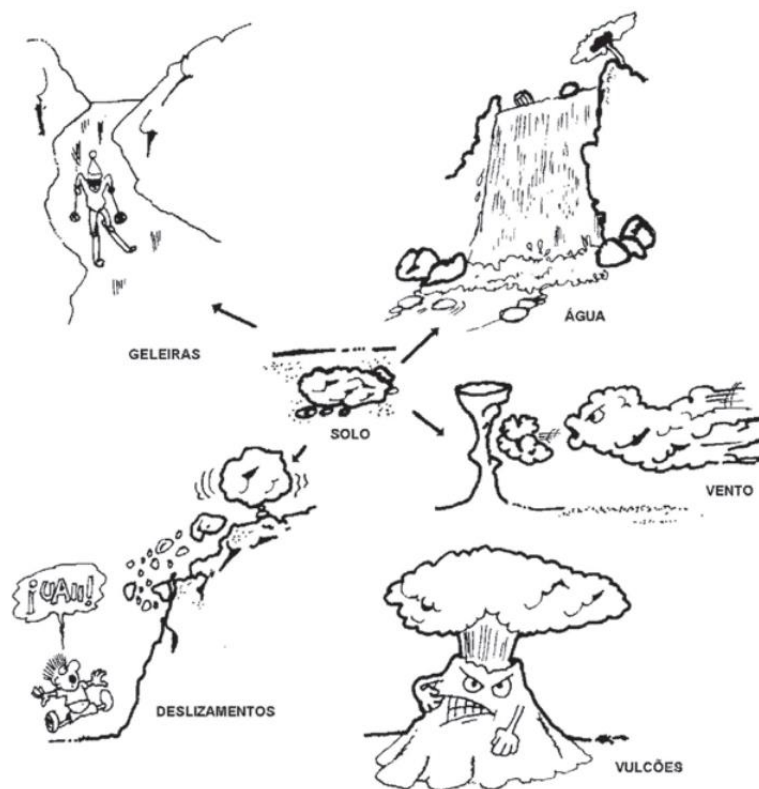


Figura 2-4: Origem dos diferentes tipos de solos. Fonte: Santiago, 2001

### 2.3.2. Tipos de solos quanto às características físicas, químicas e biológicas

Quanto as características físicas, químicas e biológicas, os solos podem ser classificados como (Embrapa Solos, 2011):

- **Solos arenosos:** são solos leves, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Eles são bem drenados, permitindo que as raízes das plantas respirem facilmente, mas também são suscetíveis à erosão. Solos arenosos são comuns em regiões áridas e semiáridas.



- **Solos argilosos:** são solos pesados, com alta capacidade de retenção de água e nutrientes. Eles são difíceis de trabalhar, pois podem se tornar muito compactos quando secos e muito pegajosos quando molhados. Solos argilosos são comuns em regiões húmidas e temperadas.
- **Solo franco:** É uma mistura equilibrada de partículas de areia, argila e silte. Geralmente possui uma boa capacidade de retenção de água e nutrientes, além de uma boa drenagem.
- **Solos calcários:** são solos ricos em cálcio e outros minerais, geralmente formados a partir de rochas sedimentares. Eles tendem a ser alcalinos e têm um pH elevado, o que pode afetar a disponibilidade de nutrientes para as plantas.
- **Solos ácidos:** são solos com baixo pH, geralmente abaixo de 6,0, e podem ser encontrados em áreas de florestas tropicais e temperadas. Eles são menos férteis do que solos neutros ou alcalinos e podem exigir a adição de calcário ou outros corretivos para torná-los mais adequados para a agricultura.
- **Solos orgânicos:** são solos ricos em matéria orgânica, como restos de plantas e animais em decomposição. Eles geralmente têm alta fertilidade e capacidade de retenção de água, tornando-os ideais para a agricultura orgânica.
- **Solos lateríticos:** são solos encontrados em regiões tropicais, que sofrem intensa lixiviação de nutrientes devido às chuvas intensas. Eles são pobres em nutrientes e podem exigir a adição de fertilizantes para a agricultura.
- **Solos pedregosos:** são solos com muitas pedras e rochas na sua composição. Eles podem ser encontrados em áreas montanhosas ou em regiões que foram impactadas por atividades vulcânicas. Solos pedregosos podem ser difíceis de trabalhar, mas podem ter boa drenagem e retenção de nutrientes.
- **Solo salino:** Possui altos níveis de sais dissolvidos, como cloreto de sódio. É comum em áreas áridas e semiáridas, onde a evaporação da água do solo concentra os sais. Geralmente é improdutivo para a maioria das plantas.

## 2.4. Solo Como Material de Construção

O uso do solo ou terra como material de construção remonta a tempos antigos, com inúmeras construções históricas que testemunham a cultura dos povos. Para o estudo do solo como material de construção há necessidade de diferenciar o que é com certa frequência chamado, em arquitetura, *terra crua*, daquilo que é denominado *terra cozida* (Santiago, 2001).

De acordo com Santiago (2011), a terra crua refere-se a elementos construtivos produzidos com o solo não submetido ao processo de transformação pelo fogo. Desta forma, as construções em terra crua são aquelas em que o solo é utilizado de maneira a adquirir consistência sem que haja a queima (mais desenvolvimento na seção 2.5).

A terra cozida refere-se a elementos construtivos produzidos com base no solo queimado (Santiago, 2011). Este processo requer como matéria-prima a argila arenosa rica em componentes sílico-aluminosos, que são transformados com a queima.

A aplicação da terra na construção apresenta variações estéticas e estruturais de acordo com cada localidade, refletindo a identidade geográfica correspondente a cada região. Essa identidade demonstra a relação intrínseca entre a construção, o ser humano e o meio ambiente. Ao mencionar a terra como material de construção, refere-se ao solo não orgânico localizado entre a rocha e a terra vegetal, cuja profundidade varia de um local para outro. Esse solo é composto principalmente por areia, argila, cascalho e silte, nos quais estão presentes cloretos, matéria orgânica, metais, nitratos, sais solúveis e sulfatos.

A argila e o silte atuam como elementos de ligação do material, conferindo-lhe poder de agregação. Por outro lado, a areia e o cascalho correspondem aos componentes inertes do material, desempenhando um papel importante na capacidade de contração e expansão do mesmo, seja devido à presença de água ou às variações de temperatura, a fim de evitar fissuras (Dethier, 1982).

É relevante destacar que as diferentes características do solo e sua composição química influenciam na forma como a terra é utilizada na construção, bem como na seleção das técnicas construtivas apropriadas para cada região (Coduto, 2011). Essa diversidade de abordagens evidencia a importância da consideração cuidadosa do ambiente local e da relação harmoniosa entre a construção e o meio ambiente em que ela se insere.

O conhecimento do uso do solo como material de construção é essencial para intervir adequadamente em monumentos históricos e realizar restaurações quando necessário. Além disso, o solo é considerado um material de construção do futuro devido à redução significativa de custos de transporte, energia e mão-de-obra em comparação com os materiais convencionais atualmente utilizados. Ele é recomendado em construções alternativas para populações com baixo poder económico em países subdesenvolvidos ou em vias de desenvolvimento como Moçambique, e também está sendo adotado em residências de classe média e alta (Santiago, 2001).

De acordo com Minke (2006), quando utilizado como material de construção, o solo recebe diferentes denominações. Do ponto de vista científico, é conhecido como "terra, que consiste em uma mistura de argila, silte, areia e, ocasionalmente, agregados maiores, como cascalho ou pedras. Quando se trata de tijolos feitos à mão e não cozidos, são comumente utilizados os termos "tijolos de barro" ou "adobes". Já para os tijolos não cozidos comprimidos, utiliza-se o termo "blocos de terra". Quando compactado em uma forma moldável, é denominado "blocos de terra comprimida".

## 2.5. Construção em Terra

A construção em terra, também conhecida como arquitetura de terra ou construção de terra crua, refere-se ao tipo de construção que é feita tendo como principal material, o solo. Essa construção é antiga e tem sido usada em várias partes do mundo ao longo da história da humanidade. Segundo Lopes et al., 2013, atualmente estima-se que cerca de 1/3 da população do mundo habita em construções em terra, sendo estas, predominantes no continente africano, na Àsia e na América do Sul (Figura 2-5).



**Figura 2-5:** Distribuição das construções em terra pelo mundo. Fonte: CRAterre, 1979, citado em Wachilala, 2018

### 2.5.1. Contexto histórico

A construção em terra é uma prática ancestral presente em diversas culturas tradicionais. No entanto, a data exata do surgimento desse tipo de construção não é consensual entre os estudiosos. De acordo com Minki (2006), as técnicas de construção em terra são conhecidas há mais de 9000 anos a.C. Essa afirmação se baseia na descoberta de habitações feitas de blocos de terra (adobe) no atual Turquemenistão, datadas de um período entre 8.000 a 6.000 a.C.

Segundo Torgal e Jalali (2009), a prática da construção em terra pode ter surgido paralelamente ao surgimento das primeiras sociedades agrícolas, entre 12.000 e 7.000 anos a.C. Por outro lado, Pollock (1999) afirma que o uso da terra na construção remonta ao período de El-Obeid na Mesopotâmia, entre 5.000 e 4.000 a.C.

Berge (2009), por sua vez, menciona que os exemplos mais antigos de blocos de adobe datam de 7.500 a.C. e foram descobertos na bacia do rio Tigre. Portanto, segundo essa perspectiva, as habitações em terra podem ter começado a ser utilizadas há mais de 10.000 anos.

É importante ressaltar que essas são apenas algumas das opiniões e estimativas apresentadas por diferentes pesquisadores sobre a origem da construção em terra. A falta de consenso se deve, em parte, à escassez de registros arqueológicos completos e à dificuldade de datação precisa. A prática da construção em terra continua sendo estudada e valorizada como parte do património cultural e arquitetónico de diversas civilizações em todo o mundo.

De acordo com Gonçalves e Gomes (2012), Nito e Amorim (2012) e Santos (2015), as construções em terra compõem cerca de 10% da "Lista do património cultural da humanidade" da UNESCO.

Exemplos notáveis incluem a aldeia de Ait-Ben-Haddou, em Marrocos (Figura 2-6.a); a cidadela de Chan Chan, no Peru (Figura 2-6.b); a mesquita de Djenné, no Mali (Figura 2-6.c); e a cidade antiga de Shibam, no Iêmen (Figura 2-6.d).

Além dos exemplos mencionados, obras construídas com terra também são encontradas em diversas regiões do mundo, conforme citado por Olender (2006) e Carvalho e Lopes (2012). Essas obras incluem estruturas na Palestina, China, Mesopotâmia, Irão, Iraque, Turquia, Peru, México e vários países da África. A existência dessas cidades e estruturas construídos com terra remonta aproximadamente 8000 anos a.C.

A ampla distribuição geográfica das construções em terra destaca a sua relevância e longa história ao redor do globo. Essas estruturas são testemunhos da habilidade e conhecimento das antigas civilizações na utilização desse material local abundante para construir ambientes habitáveis e duráveis.

Ao estudar e compreender essas construções em diferentes partes do mundo, pode-se apreciar a diversidade cultural, técnica e estética da arquitetura em terra. Essas obras representam uma parte significativa do patrimônio arquitetônico global e fornecem *insights* valiosos sobre as sociedades que as criaram, suas condições ambientais e as soluções criativas encontradas para enfrentar os desafios locais.



**Figura 2-6:** a) Aldeia de Ait-Ben-Haddou, em Marrocos; b) Cidadela de Chan Chan, no Peru; c) Mesquita de Djenné, no Mali; e d) Cidade antiga de Shibam, no Iêmen. Fonte: UNESCO, 2018, citado em Cordeiro *et. al.*, 2019.

### 2.5.1.1. Construção em terra na Europa e Ásia

Na Europa, a construção em terra crua é encontrada em diversas regiões, desde o Norte até o Sul do continente. Exemplos notáveis incluem áreas rurais na Dinamarca, Suécia, Inglaterra, França, Alemanha, Espanha e Portugal (Houben e Guillaud, 2006). Um dos registros mais antigos de paredes de tijolos de barro na região foi descoberto no Forte Heuneburg, na Alemanha, datado do século VI a.C (Minke, 2006). O uso da terra como material de preenchimento em estruturas de madeira remonta à Idade do Bronze. Um destaque na Europa é a casa de paredes sólidas de terra mais alta, localizada em Weilburg, Alemanha, construída em 1828 e ainda de pé.

No Oriente Próximo e Médio, as escavações arqueológicas revelaram a evolução da construção em terra após o período neolítico. No Iêmen, as cidades históricas de Shibam e Sanaa são notáveis por terem as suas edificações de vários pavimentos construídas com o utilização do solo como material básico (Santiago, 2001).

A região também apresenta exemplos como as construções de planta quadrada em adobes em Muraybet, na Síria, e possivelmente os primeiros tijolos paralelepípedos em Tell Hassuna, no Iraque. As muralhas de Nínive, na Assíria, eram feitas inteiramente de terra, enquanto o palácio de Sargão II em Korsabad combinava adobes com materiais de acabamento refinados. Na Babilónia, além do uso generalizado da terra, surgiram técnicas como a terra armada nos zigurates. Na Pérsia, adobes secos com argamassa de argila eram utilizados, e a cidade de Pasárgada introduziu os princípios da sala hipostila. No Extremo Oriente, as cidades neolíticas de Harappa e Moenjo-Daro, na Índia, eram construídas em adobes, enquanto na China, as comunidades utilizavam buracos escavados no solo loess e casas semienterradas em adobes e madeira (Santiago, 2001). A Grande Muralha da China (Figura 2-7), com 4000 anos de idade, foi originalmente construída apenas com terra compactada; apenas uma cobertura posterior de pedras e tijolos lhe deu a aparência de uma muralha de pedra (Minke, 2006).



**Figura 2-7:** A grande muralha da China. <https://www.adventureclub.com.br/blog/conheca-a-historia-e-curiosidades-da-grande-muralha-da-china/>

### **2.5.1.2. Construção em terra na América**

Na América Central e América do Sul, edifícios de adobe são conhecidos em quase todas as culturas pré-colombianas (Minke, 2006). No México, as casas em adobe eram comuns, sendo construídas com tranças de terra cobertas com palha e terra compactada, revestidas por pedras. Essa técnica foi utilizada pelos astecas, olmecas e maias, inclusive nas pirâmides encontradas em sítios arqueológicos mexicanos. O material de revestimento variava, com calcário na Península de Yucatán e tufo vulcânico no resto do país. Um exemplo notável é a Pirâmide do Sol em Teotihuacan (Figura 2-8), composta por uma grande montanha artificial de terra compactada revestida de tufo vulcânico (Minke, 2006; Santiago, 2001).



*Figura 2-8: Pirâmide do Sol de Teotihuacan, México (Pacheco-Torgal et al., 2009 em Wachilala, 2018).*

Na América Andina, a arquitetura predominava em terra, com construções em adobe, algumas revestidas em pedra. Os canais de irrigação eram feitos de taipa de pilão ou adobe. Chan Chan é um exemplo impressionante dessa técnica, com uma cidade cercada por muralhas de terra e vários palácios internos, todos construídos com terra. Até hoje, na região, a taipa de pilão, o adobe e a quincha são amplamente utilizados na construção, havendo inclusive legislação específica no Peru para o uso desses materiais (Santiago, 2001).

No Brasil, a terra foi amplamente empregada na construção até o século XVIII, especialmente onde havia escassez de pedra. Exemplos notáveis incluem as muralhas de Salvador, a Casa Forte construída por Caramuru e igrejas em Minas Gerais, todas feitas de taipa. Vestígios de arquitetura de terra ainda podem ser encontrados em Cuiabá, São Paulo e Goiás, com destaque para a Casa Bandeirista. A taipa de pilão foi amplamente difundida, e há registros de seu uso até no Ceará (Santiago, 2001).

### **2.5.1.3. Construção em terra na África**

Na África, quase todas as mesquitas antigas são construídas com terra (Minke, 2006). No Egito, apesar das famosas pirâmides e templos em pedra, o uso de adobes (tijolos de terra crua) é documentado desde 5000 a.C. As construções em adobe eram comuns, incluindo residências, palácios e templos, como o Ramesium de Ramsés II. Na África, destacam-se programas de construção em massa de terra crua, como o projeto de 5000 casas na Ilha de Mayotte e a construção de 2000 salas de aula em escolas experimentais. Além disso, há diversas edificações públicas e privadas em vários países africanos, construídas em terra ao longo da história. O uso de adobes e a arquitetura em terra representam a abundância de materiais locais, adaptação ao clima e valorização das tradições construtivas na África.

Destacam-se a cidade de Ghadamès, na Líbia, com mais de 6.000 anos de existência, e Vale do Draa em Marrocos (Figura 2-9), onde existem vários exemplos de construções em terra com mais de 250 anos. No Mali, as cidades de Timbuktu e Djenné são conhecidas por suas construções em terra crua. A Grande Mesquita de Djenné é considerada a maior obra arquitetônica em terra do mundo e foi construída em adobe sobre as ruínas da estrutura original.



**Figura 2-9:** Vale do Draa, Marrocos (250 anos) (Guerreiro, 2009 em Wachilala, 2018).

A arquitetura de terra na África é influenciada pela cultura árabe e é predominante na região do Oeste Africano. A cidade de Djenné é construída integralmente em terra e é considerada uma das mais belas do Sahel. A manutenção da Grande Mesquita de Djenné é responsabilidade de toda a população, que participa da coleta, preparação e aplicação dos materiais necessários para sua conservação.





**Figura 2-10:** A Grande Mesquita de Djenné, atualmente a maior obra em terra crua, construída em adobe, Mali (1280 d.C.) (África Ocidental). (Jahn, 2005; Williams e Kniveton, 2011, citado em Wachilala, 2018).

O Escarpado de Bandiagara e as Habitações Dogon são outro destaque na arquitetura de terra africana. Essa região foi habitada por tribos da cultura Tellem e posteriormente pelos Dogon. O uso do adobe como material de construção é praticado há séculos, e em Djenné, os adobes em forma cônica eram produzidos incorporando materiais como palha, atribuindo deste modo maior coesão e resistência ao barro seco.

A República dos Camarões também apresenta técnicas de construção em terra notáveis, como as estruturas da etnia Mousgoum, localizada na região norte do país. As construções são feitas diretamente do solo compactado, empilhando terra misturada com palha em espiral ou camadas, formando paredes finas e cúpulas. Essas técnicas de construção em terra são influenciadas pela abundância de matéria-prima, baixo custo, características bioclimáticas e harmonia com o ambiente.

A arquitetura de terra na África é diversificada, refletindo as várias técnicas desenvolvidas ao longo dos séculos. Sua sobrevivência e renovação atual são justificadas pela disponibilidade de recursos, baixo custo, adaptação ao clima e integração com o ambiente.

#### 2.5.1.4. Construção em terra em Moçambique

A construção em Moçambique é subdividida em dois grupos, o primeiro engloba a “construção culta”, característica da sociedade moderna, que se caracteriza por ser uma produção artística complexa, tecnicamente regulamentada, com intervenientes altamente especializados e que, por norma, exclui a participação ativa do utilizador (Ribeiro, 2015). O segundo engloba a “construção tradicional”, típica da sociedade tradicional, e inclui palhotas e construções feitas de caniço (Ribeiro, 2015). Esta construção se diferencia da anterior pela participação ativa do utilizador na produção das suas casas.

Em Moçambique, a construção em terra com base no solo é uma herança cultural que tem sido desenvolvida durante séculos. Antes da era colonial, vigoravam de Norte ao Sul as casas feitas de solo, pau-a-pique e cobertas de palha, tradicionalmente designadas por palhotas. Com a chegada dos portugueses nos finais do século XV, as técnicas de construção em terra do país foram evoluindo, com a implementação de técnicas de construção mais sofisticadas.

Durante o período colonial, a influência portuguesa introduziu novos materiais e técnicas de construção, como tijolos de barro cozido e alvenaria de pedra. No entanto, a construção em terra ainda era amplamente praticada nas áreas rurais e em comunidades tradicionais.

Após a independência de Moçambique em 1975, houve um ressurgimento do interesse pela construção em terra como uma forma de recuperar e preservar a identidade cultural do país. As técnicas de construção em terra em Moçambique envolvem o uso de diferentes tipos de técnicas e materiais. O adobe, que consiste em tijolos de terra crua secos ao sol, é comumente usado na construção de paredes. O barro também é utilizado para fazer revestimentos e rebocos, enquanto a palha pode ser adicionada como reforço e isolante térmico.

Além do adobe (Figura 2-11), outras técnicas tradicionais de construção em terra incluem o pau-a-pique (2-12), que combina troncos de madeira entrelaçados com barro, e a taipa, que consiste em camadas de terra compactada.

Até o final do século XIX, em Moçambique, existiam dois tipos de casas tradicionais que pertenciam aos diferentes grupos culturais e étnicos do país (Ribeiro, 2015). No sul, era comum encontrar casas cilíndricas com cobertura cônica, enquanto no norte predominavam as casas retangulares com cobertura de quatro águas. Em ambos os casos, as paredes eram construídas com uma estrutura de pau-a-pique, geralmente revestidas com uma mistura de terra e pedra (conhecida como "maticado") e a cobertura era feita com capim ou folhas de palmeira. Essas técnicas e materiais de construção ainda são utilizados atualmente na arquitetura tradicional moçambicana, principalmente no processo de construção de paredes de pau-a-pique revestidas com argila e pedra.

Embora a construção em terra tenha sido amplamente praticada ao longo da história de Moçambique, é importante ressaltar que a introdução de materiais modernos, como cimento e tijolos de betão, tem afetado a prevalência dessa técnica tradicional.

A construção em terra em Moçambique desempenha um papel importante no desenvolvimento sustentável, pois contribui para a redução da pobreza, promove a autonomia das comunidades locais e utiliza materiais e recursos disponíveis localmente. Além disso, a construção em terra possui propriedades térmicas e acústicas favoráveis, tornando as estruturas confortáveis em um clima tropical.



**Figura 2-11:** Construções em terra feitas de adobe, típicas das zonas centro e norte de Moçambique. Fonte: Ribeiro, 2015



**Figura 2-12:** Casas de pau-a-pique típicas da construção em terra em Moçambique. Fonte: Ribeiro, 2015.

### **2.5.1.5. Construção em terra na Província de Maputo**

A construção em terra na Província de Maputo, em Moçambique, tem uma longa história e continua sendo uma prática relevante até os dias atuais. A Província abrange uma variedade de comunidades urbanas e rurais, cada uma com suas próprias tradições construtivas.

Nas áreas rurais de Maputo, as técnicas de construção em terra são amplamente utilizadas pelas comunidades locais. A terra é extraída das áreas circundantes, misturada com outros materiais orgânicos, como palha ou esterco de animais, e compactada para formar tijolos de adobe. Esses tijolos são então usados para erguer as paredes das casas, que geralmente são revestidas com uma argamassa de terra para proteção adicional (Ribeiro, 2015).

Essa abordagem construtiva baseada em materiais naturais e de baixo custo é particularmente adequada para as comunidades rurais, onde os recursos financeiros são limitados. Além disso, as propriedades térmicas da terra ajudam a manter as casas frescas durante os meses quentes, enquanto a mistura de materiais orgânicos melhora a resistência e a durabilidade dos tijolos.

Na área urbana da Província de Maputo, a construção em terra também pode ser encontrada, embora em menor escala. Geralmente, isso ocorre em bairros mais antigos, onde as influências coloniais e tradicionais se misturam. Aqui, é comum ver casas com paredes de tijolos de adobe revestidos com argamassa de terra ou pintados com cores vibrantes.

Além das habitações, a construção em terra também é usada na criação de estruturas comunitárias, como escolas, centros de saúde e edifícios públicos. Esses projetos muitas vezes envolvem a participação ativa das comunidades locais, que são treinadas nas técnicas de construção em terra e desempenham um papel fundamental na construção e manutenção dessas estruturas.

A valorização da construção em terra na Província de Maputo está relacionada com a sua sustentabilidade, o uso de materiais locais e a preservação da identidade cultural. Esforços estão sendo feitos para promover e preservar essa tradição construtiva por meio de programas de capacitação, educação e conscientização, destacando suas vantagens ambientais, económicas e sociais.

No entanto, é importante observar que, assim como em outras áreas, a construção em terra em Maputo enfrenta desafios como, a urbanização acelerada, a falta de regulamentação específica e o acesso limitado a recursos e treino adequados. Superar esses desafios requer o envolvimento de várias partes interessadas, incluindo o governo, organizações não-governamentais e profissionais da área da construção, para garantir a continuidade e a valorização dessa prática construtiva tradicional.

O Distrito de Moamba, localizado na Província de Maputo, em Moçambique, também possui uma tradição de construção em terra. Essa técnica construtiva é amplamente utilizada pelas comunidades locais para a construção de habitações e estruturas comunitárias.

Na região rural de Moamba, as casas são frequentemente construídas com pau-a-pique, também designado maticado. O maticado consiste na construção de uma grelha de madeira ou cana entrelaçada, formando uma estrutura (Ribeiro, 2015). Posteriormente, aplica-se uma fina camada de terra sobre essa estrutura, que é preenchida com um composto de barro argiloso, água e fibras vegetais. Essa técnica é utilizada principalmente para a construção de paredes (Figura 2-13).

Além do maticado, outra técnica tradicional utilizada, embora não com muita frequência, é o adobe, que geralmente é utilizado nas paredes exteriores das construções. O adobe é composto por tijolos de barro cru, secos ao sol. No interior das construções, é comum o uso de caniço (um tipo de material vegetal ilustrado na Figura 2-14) e, para coberturas, são utilizados materiais como capim e chapas de zinco (Figura 2-14).

Ao longo dos anos, devido ao progresso económico nas comunidades rurais do Distrito de Moamba, tem havido uma tendência de substituir o uso do solo por cimento como argamassa para as estruturas de pau-a-pique ou material de revestimento das casas (Figura 2-15).

A construção em terra é valorizada por sua disponibilidade e baixo custo, já que os materiais utilizados são encontrados localmente. Além disso, a terra possui boas propriedades térmicas, ajudando a manter as casas frescas durante o calor intenso. A comunidade local desempenha um papel fundamental na construção das casas, trabalhando em conjunto para moldar os tijolos, erguer as paredes e finalizar as estruturas.



**Figura 2-13:** Construção do tipo pau-a-pique existente na localidade de Goane 1, no Distrito de Moamba. Fonte: Autora, 2023.



**Figura 2-14:** Uso do solo como material de cobertura da estrutura feita de caniço e bambu. Fonte: Tárícia Novele, 2023.

Além das habitações, a construção em terra também é aplicada em outras estruturas, como escolas, postos de saúde e edifícios públicos no Distrito de Moamba. Esses projetos são muitas vezes iniciativas comunitárias, envolvendo a participação ativa dos moradores locais.

No entanto, assim como em outras regiões, a construção em terra em Moamba enfrenta desafios, como a falta de conhecimento técnico adequado, a necessidade de regulamentação e diretrizes específicas e a disponibilidade limitada de recursos e materiais de qualidade. Iniciativas de capacitação e sensibilização são importantes para promover a prática da construção em terra de forma segura e sustentável, contribuindo para preservar essa tradição construtiva única.

É importante ressaltar que a construção em terra é uma prática que está evoluindo e se adaptando às necessidades e condições locais. Esforços estão sendo feitos para combinar as técnicas tradicionais com métodos modernos de construção em terra, como a estabilização dos tijolos com aditivos naturais ou o uso de técnicas de impermeabilização para aumentar a durabilidade das estruturas.



Figura 2-15: Construção de pau-a-pique revestida de cimento. Fonte: Tárícia Novele, 2023.

### 2.5.2. Vantagens e desvantagens da construção em terra

A utilização da terra como material de construção apresenta diversas vantagens em diferentes níveis (Minke, 2006) :

- **Económico:** O uso da terra como material de construção proporciona uma redução significativa nos custos de construção, uma vez que é um recurso disponível localmente ou pode ser adquirido a baixo custo. Isso resulta em economias energéticas, especialmente importante em contextos de economia ameaçada por altos gastos energéticos.
- **Energético:** A terra pode ser utilizada localmente, reduzindo os custos de transporte, e não requer transformação industrial complexa, ao contrário de materiais como cimento, aço e tijolos cozidos. Além disso, as paredes de terra têm boa inércia térmica, o que contribui para a redução dos custos de aquecimento e climatização dos edifícios.
- **Ecológico:** A construção com terra crua não exige altas temperaturas para a sua produção, como acontece com materiais industrializados, evitando assim a poluição atmosférica. Isso contribui para a preservação do meio ambiente, especialmente em um momento em que a indústria pesada de materiais de construção contribui para a destruição da camada de ozono. Além disso, a terra é um material natural que pode ser totalmente reciclado e reutilizado.
- **Político:** A terra é um material disponível globalmente, presente em todas as partes do planeta, e sua utilização pode reduzir a dependência de técnicas e materiais importados, especialmente em países do terceiro mundo, como Moçambique. Isso pode ajudar a reduzir a dependência económica e a dívida externa desses países.
- **Social:** As tecnologias de construção com terra permitem a redução dos custos de habitação social, promovendo a acessibilidade e possibilitando a autoconstrução. Isso contribui para

a inclusão social e a participação das comunidades na construção de suas próprias habitações.

- **Cultural:** O uso da terra como material de construção permite a manutenção de uma linguagem criativa e adaptada aos aspectos culturais e particularidades de cada região. Ao longo da história, diversas civilizações têm utilizado a terra como forma de expressar sua identidade cultural.

Embora a utilização da terra como material de construção apresente diversas vantagens, é importante também considerar algumas das desvantagens associadas a essa prática. Aqui estão algumas das principais desvantagens (Minke, 2006):

- **Resistência e durabilidade limitadas:** Comparando com materiais industrializados como o betão armado e o aço, a terra analisada como material de construção possui resistência e durabilidade relativamente inferiores. Estruturas construídas com terra podem ser mais suscetíveis a danos causados por condições climáticas adversas, como chuvas intensas, erosão e desgaste ao longo do tempo. É necessário adotar técnicas adequadas de proteção e manutenção para garantir a longevidade das construções de terra.
- **Restrições arquitetónicas:** A construção com terra pode apresentar limitações em termos de *design* e arquitetura. Devido às características físicas do material, é mais difícil alcançar formas complexas e estruturas arquitetónicas inovadoras. Isso pode restringir a liberdade criativa dos projetos e limitar as opções estéticas disponíveis.
- **Problemas de secagem:** A terra tende a encolher quando seca, o que pode resultar no aparecimento de fendas nas estruturas de terra. Essas fendas podem facilitar a infiltração de água e enfraquecer os elementos da construção. É necessário adotar medidas de proteção contra a água e estabilizar as paredes de terra através do uso de aditivos ou otimização da composição do solo para minimizar o encolhimento e as consequentes fissuras.
- **Variação nas propriedades do solo:** A terra é um material cujas características e composição podem variar de acordo com o tipo de solo utilizado. Isso torna difícil prever com precisão o comportamento do material em diferentes situações. É necessário realizar ajustes na mistura do solo, como adicionar estabilizadores, para corrigir possíveis fragilidades de cada amostra. Isso requer o envolvimento de profissionais especializados que possuam um conhecimento aprofundado sobre a construção em terra.
- **Risco de infestação e deterioração:** A utilização da terra como material de construção pode estar associada a um maior risco de infestação por insetos, roedores e microrganismos. A humidade excessiva também pode levar à deterioração do material ao longo do tempo. É importante adotar medidas adequadas de controlo de pragas e humidade para evitar problemas de saúde e danos às estruturas.
- **Limitações de regulamentação:** Em alguns países, as técnicas de construção com terra podem não estar devidamente regulamentadas e normalizadas. A falta de diretrizes claras pode dificultar a obtenção de permissões de construção e a aceitação oficial dessas técnicas. Isso pode criar obstáculos burocráticos e desafios para aqueles que desejam utilizar a terra como material de construção.



### 2.5.3. Técnicas da construção em terra

Existem diversas formas de construção em terra encontradas em todo o mundo, desde as mais simples até as mais avançadas, que surgiram do aprimoramento do conhecimento humano nessa área. Na Figura 2-16, são apresentadas as três principais categorias de técnicas de construção em terra, estabelecidas pela CRATerre (Centre International de la Construction en Terre). Essas categorias abrangem o uso da terra de três maneiras distintas:

**A. Utilização da terra crua sob a forma monolítica e portante:** Nessa categoria, a terra é utilizada como material principal e forma uma estrutura contínua e unificada. É empregada a técnica de moldagem *in situ*, na qual a terra é compactada e moldada diretamente no local da construção, resultando em uma estrutura sólida e integrada.

**B. Utilização da terra crua sob a forma de alvenaria portante:** Aqui, a terra é utilizada na forma de unidades manufaturadas, que são posteriormente utilizadas para construir paredes. Essas unidades podem ser tijolos de terra crua, tijolos de adobe ou blocos de terra comprimida. A construção de alvenarias de terra envolve o encaixe dessas unidades para formar as paredes da edificação.

**C. Utilização da terra crua como enchimento de uma estrutura de suporte:** Nessa categoria, a terra é usada como material de preenchimento entre elementos estruturais, como madeira, bambu ou aço. A terra é compactada dentro dos vazios ou entre as estruturas, fornecendo estabilidade e isolamento térmico.

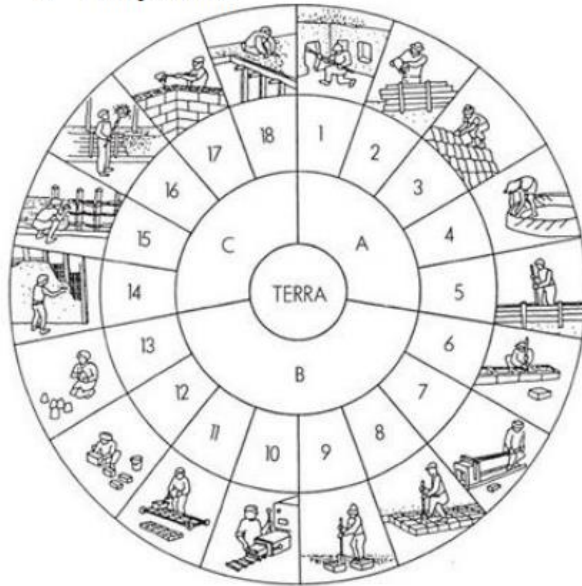
Das diversas técnicas de construção existentes as mais utilizadas e mais populares são (Inácio, 2016; citado por Wachilala, 2018): o adobe (blocos de terra), o BTC (blocos de terra comprimida), a taipa (paredes de terra compactada) e o pau-a-pique.

A - Utilização da terra crua sob a forma monolítica e portante:

1. Terra escavada
2. Terra plástica
3. Terra empilhada
4. Terra modelada
5. Terra prensada

B - Utilização da terra crua sob a forma de alvenaria portante:

6. Blocos apilados
7. Blocos prensados
8. Blocos cortados
9. Torrões de terra
10. Terra extrudida
11. Adobe mecânico
12. Adobe manual
13. Adobe moldado



C - Utilização da terra crua como enchimento de uma estrutura de suporte:

14. Terra de recobrimento
15. Terra sobre engradado
16. Terra palha
17. Terra de enchimento
18. Terra de cobertura

**Figura 2-16:** Diferentes tipos de utilização do solo como material de construção (Houben e Guillaud, 1989, citado em Inácio, 2016).

### 2.5.3.1. Adobe

Segundo Santiago (2005), adobe é o nome dado aos tijolos de barro ou tijolos feitos de terra crua secos ao sol ou à sombra, em locais arejados, sem que sejam submetidos à queima pelo fogo. Estes tijolos eram muito utilizados para construir paredes de edifícios até o século XX. Após um período de declínio devido ao surgimento de novas tecnologias que substituíram essa técnica, houve uma evolução nos processos de fabricação dos adobes, tornando-os mais mecanizados, além da aplicação de estabilizantes e aditivos para melhorar seu desempenho (Lourenço, 2002 e Mateus, 2004, citado em Inácio, 2016).

A produção de adobe segue diretrizes específicas em relação à composição do solo a ser utilizado. Para obter adobes de alta resistência, é necessário levar em consideração os seguintes parâmetros, conforme mencionado por Doat *et al.* 1985, citado em Inácio, 2016:

- A proporção de areia na mistura deve estar entre 55% e 75%. A presença desse componente ajuda a melhorar a resistência mecânica dos adobes, proporcionando uma maior estabilidade estrutural.

- A concentração de argila recomendada varia de 15% a 18%. A argila desempenha um papel crucial na coesão da mistura, contribuindo para a formação de ligações entre as partículas e aumentando a resistência do adobe.
- A quantidade de matéria orgânica presente na composição do solo deve ser inferior a 3%. A presença excessiva de matéria orgânica pode comprometer a resistência e a durabilidade dos adobes, uma vez que pode levar à decomposição e à formação de vazios durante o processo de secagem.
- A faixa ideal de silte na mistura é de 10% a 28%. O silte contribui para melhorar as propriedades de trabalho do adobe, conferindo-lhe uma boa plasticidade e facilitando a moldagem.

O processo de preparação do adobe envolve a mistura do solo com água até obter uma mistura pastosa, que é então colocada em moldes com dimensões correspondentes ao tamanho desejado dos tijolos (Duarte, 2013). A escolha do solo deve ser feita após um estudo do local de extração, uma vez que solos muito arenosos resultam em tijolos pouco consistentes e quebradiços, enquanto solos muito argilosos podem levar à fissuração dos blocos durante a secagem (Jalali e Eires, 2008).

A adição de fibras, como palha, fibras sintéticas ou metálicas (fibra de vidro ou de metal), ajuda a melhorar a resistência à tração dos adobes e a aprimorar o seu comportamento. Os moldes são feitos geralmente de madeira ou metal e são divididos em vários compartimentos para produzir vários tijolos simultaneamente (Figura 2-17).



Figura 2-17: Produção dos adobes (Duarte, 2013).

Após a remoção dos moldes, é imprescindível submeter os tijolos a um cuidadoso processo de secagem, visando extrair todo o potencial dos adobes. Nesse sentido, é fundamental garantir as seguintes precauções, conforme as recomendações em Duarte (2013):

- Durante o período de secagem, é crucial que as peças sejam expostas à sombra, a fim de evitar a ocorrência de fissuras e possíveis desagregações. A exposição direta ao sol pode levar a uma secagem rápida e desigual, prejudicando a qualidade final dos tijolos.
- Após a etapa de secagem à sombra, os adobes devem ser gradualmente expostos à luz solar. Essa exposição permite que ocorra o endurecimento adequado dos tijolos, contribuindo para a obtenção de uma estrutura sólida e resistente.

- Durante todo o processo de secagem, é necessário virar as peças de forma periódica. Essa prática tem como objetivo uniformizar a secagem, evitando diferenças significativas na humidade entre as diferentes partes dos tijolos. Dessa forma, é possível minimizar o risco de deformações ou rachaduras.
- É importante ressaltar que o tempo necessário para a completa secagem dos tijolos pode variar consideravelmente, dependendo das condições climáticas locais. Em média, estima-se que esse período esteja compreendido entre 3 e 6 semanas. No entanto, é essencial monitorizar constantemente o teor de humidade dos adobes, a fim de determinar o momento ideal para utilizá-los na construção.

O uso da técnica de construção com adobe em Moçambique remonta aos tempos coloniais. Durante o período colonial português, o adobe era amplamente utilizado na construção de casas, edifícios públicos e estruturas rurais em todo o país. O adobe era uma opção popular devido à disponibilidade de materiais locais, como a argila, e à relativa facilidade de construção. Além disso, as propriedades térmicas do adobe ajudavam a manter as estruturas frescas durante o calor intenso. No interior das construções, é comum o uso de caniço (um tipo de material vegetal) e, para coberturas, são utilizados materiais como capim, chapas de zinco e placas de fibrocimento, dependendo da região do país.

Embora o adobe tenha sido amplamente utilizado no passado, é importante notar que as técnicas de construção e os materiais evoluíram ao longo do tempo. Hoje em dia, em muitas áreas urbanas de Moçambique, outros materiais de construção, como tijolos cerâmicos ou blocos de betão, são mais comuns devido às mudanças nas práticas construtivas e às influências modernas. No entanto, em áreas rurais e em certas regiões, ainda é possível encontrar edifícios construídos com adobe, especialmente em comunidades mais tradicionais. Essas estruturas podem ser preservadas como parte do património cultural e arquitetónico do país.

É importante ressaltar que, o uso do adobe como técnica construtiva apresenta tanto vantagens quanto desvantagens. Algumas das principais vantagens incluem a facilidade no fabrico, secagem e empilhamento do material. O adobe possui uma considerável capacidade isolante devido à sua porosidade, permitindo o controlo térmico das construções. Além disso, o adobe oferece diversidade de formas arquitetónicas, é 100% reciclável e não requer mão-de-obra especializada, sendo que o equipamento artesanal utilizado, como moldes, é económico.

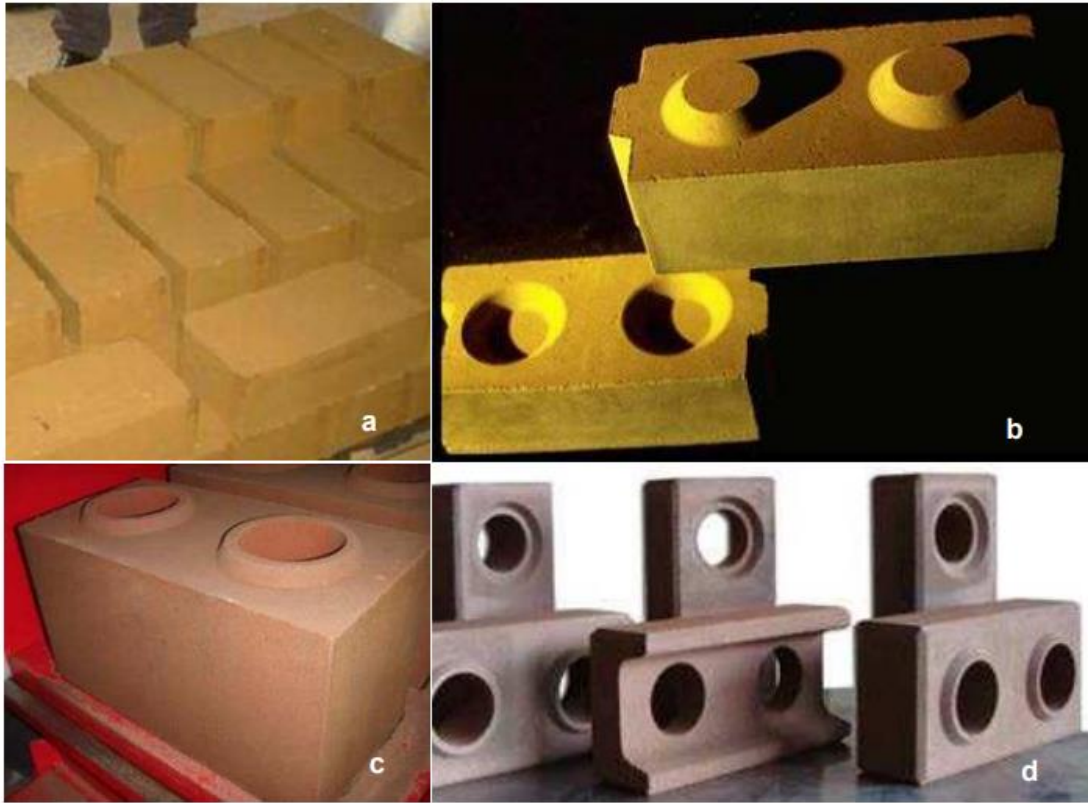
Por outro lado, algumas desvantagens do adobe podem ser apontadas. O material apresenta baixa resistência à tração e flexão em comparação a outras alvenarias, como o tijolo e bloco cerâmico ou bloco de betão. O fabrico artesanal do adobe requer um esforço humano considerável e uma área ampla e arejada para a secagem. A produção do adobe demanda uma grande quantidade de água. A obtenção de dimensões regulares para os componentes de adobe pode ser difícil. A qualidade do adobe está condicionada à mistura correta e ao repouso da mistura por alguns dias para sua adequada hidratação ("dormir" o barro). Em zonas afetadas por terremotos, a utilização de coberturas pesadas em cúpulas e abóbadas não é recomendada para construções em adobe, sendo necessários reforços e contrafortes apropriados. Além disso, devido à sua porosidade, o adobe tem a capacidade de absorver uma quantidade significativa de água.

### **2.5.3.2. Blocos de terra comprimida – BTC**

Os Blocos de Terra Comprimidas (BTC) surgem como resultado do aperfeiçoamento e melhoramento das técnicas de fabrico dos adobes (Figura 2-18). Enquanto o adobe envolve a mistura de argila, areia, água e palha para criar tijolos de barro secos ao sol, a técnica de produção de BTC utiliza uma abordagem mecânica para estabilizar o solo. Nesse processo, o solo é prensado em um molde confinado, resultando em pequenos blocos de terra comprimida que são mais resistentes e duráveis em comparação ao adobe (Wachilala, 2018). A primeira prensa manual de fabrico de BTC, conhecida como Cinva-Ram, foi criada nos anos 50 por G. Ramires, um inventor colombiano (Gomes et al., 2019).

A compactação do solo com a prensa faz com que as partículas fiquem mais próximas, aumentando a resistência mecânica, resultando na diminuição da porosidade e permite obter um produto mais homogêneo (Moreira, 2008 e Duarte, 2013 citado em Inácio, 2016).

Os BTC podem ser fabricados em diferentes formatos e dimensões. Os formatos comuns incluem BTC maciços e BTC com furos, podendo ambos apresentar ou não encaixes. De acordo com Neves e Milani (2011) em Wachilala (2018), os BTC têm a capacidade de substituir os blocos cerâmicos convencionais em diversos tipos de construção, tanto em alvenaria simples de vedação como em alvenaria estrutural, desde que atenda às resistências especificadas no projeto. As paredes construídas com BTC podem ser deixadas aparentes, desde que protegidas da chuva, ou revestidas com argamassa, diferentes tipos de pintura ou revestimento cerâmico.



**Figura 2-18:** Alguns exemplos da variedade de BTC: a) Maciço de superfície lisa; b) Maciço com encaixes – “Bloco Mattone” (Mattone, 2007); c) Com furos; d) Com furos e encaixe. Fonte: (Duarte, 2013).

Apesar de a aplicação de BTC em Moçambique ser relativamente recente, essa técnica tem sido adotada em algumas regiões do país nos últimos anos. A utilização de blocos de terra comprimida em Moçambique está alinhada com os princípios da construção sustentável e tem o potencial de atender às necessidades habitacionais de forma mais acessível e ambientalmente amigável.

O uso de BTC apresenta várias vantagens significativas:

- **Baixo custo:** O fabrico de BTC requer menos energia e recursos em comparação com outros materiais de construção, o que resulta em um custo reduzido. Além disso, a matéria-prima básica (terra) é geralmente acessível e económica.
- **Eficiência energética:** Os BTCs possuem excelente isolamento térmico, o que significa que ajudam a manter a temperatura interna estável, reduzindo a necessidade de aquecimento ou resfriamento artificial. Isso resulta em menor consumo de energia ao longo do tempo.
- **Durabilidade e resistência:** Quando adequadamente fabricados e compactados, os BTCs têm alta resistência mecânica. Eles podem suportar cargas significativas e têm boa capacidade de resistir a terremotos e outros desastres naturais.
- **Versatilidade de design:** Os BTCs são moldáveis e podem ser usados para criar uma variedade de formas e *designs* arquitetónicos. Eles permitem a construção de estruturas personalizadas, como curvas, arcos e detalhes artísticos.

Embora os BTC tenham várias vantagens, também é importante considerar algumas desvantagens associadas ao seu uso:

- **Restrições climáticas:** A produção de BTCs depende das condições climáticas adequadas. Chuva excessiva, humidade ou temperaturas extremas podem afetar a qualidade dos blocos durante o fabrico e o processo de cura. Isso pode resultar em blocos fracos ou de baixa resistência.
- **Limitações estruturais:** Embora os BTCs sejam resistentes e duráveis, eles podem ter algumas limitações estruturais. Para construções de vários andares ou grandes vãos, podem ser necessários reforços adicionais, como vigas de betão armado, para garantir a estabilidade e a segurança da estrutura.
- **Proteção contra humidade:** Os BTCs têm uma maior tendência a absorver humidade em comparação com materiais de construção convencionais. Portanto, é importante garantir uma boa proteção contra a humidade, através do uso de revestimentos adequados e sistemas de impermeabilização, para evitar problemas como deterioração e mofo.

### 2.5.3.3. Taipa

A taipa é uma técnica construtiva amplamente reconhecida como um método monolítico empregado por diversas culturas ao longo dos séculos. A construção em taipa se destaca por exigir uma quantidade reduzida de água, tornando-se especialmente adequada para regiões com disponibilidade hídrica limitada (Wachilala, 2018). No entanto, mesmo em climas mais húmidos, a taipa exhibe um desempenho satisfatório, devido à sua natureza porosa e à capacidade de resistência demonstrada durante períodos chuvosos e temperaturas baixas. Em climas mais adversos, são aplicados métodos adicionais para proteger as paredes, como impermeabilização das fundações ou a adoção de coberturas com inclinação (Botinas, 2017).

As paredes de taipa são caracterizadas por sua espessura média de aproximadamente 50 centímetros, sendo as estruturas comumente baixas, com uma ou duas camadas de pavimento. O processo de construção envolve a compactação de uma mistura específica de agregados selecionados entre dois painéis de cofragem paralelos (Mateus, 2004). Essa mistura é composta principalmente por 40-50% de areia, 20-35% de silte, 0-15% de cascalho e uma proporção de argila entre 15-25%. Após a secagem do solo, os painéis de cofragem são removidos, resultando em uma estrutura rígida e monolítica. O desenvolvimento de uma construção em taipa abrange diversas etapas distintas, incluindo a definição da área de construção, a marcação de guias para alinhamento das paredes, a facilitação dos trabalhos de cofragem e a garantia da verticalidade das paredes após a preparação do terreno e a remoção do solo superficial.

A construção das fundações é realizada utilizando alvenaria de pedra (como xisto, barro ou pedra seca), com uma elevação de aproximadamente 0,5 metros acima do solo, a fim de evitar a ascensão de humidade nas paredes de taipa. A terra húmida é colocada nos painéis de cofragem em camadas de cerca de 10 centímetros, facilitando assim a compactação. Um exemplo de configuração tradicional dos painéis de cofragem é composto por dois painéis laterais, duas comportas (opcional, dependendo do tipo de união entre os blocos) e quatro estacas de suporte, que, juntamente com as

agulhas, conferem estabilidade aos painéis (Neves, 2011). No passado, os painéis de cofragem eram construídos em madeira, o que resultava em prazos de execução bastante longos. Atualmente, existem processos que permitem acelerar essa etapa, como a utilização de cofragens metálicas deslizantes.

A compactação do solo húmido é realizada com o auxílio de um pilão, geralmente pesando entre 5 e 9 quilogramas, que é elevado e deixado cair repetidamente sobre a superfície da terra. Essa ação promove a expulsão do ar, a densificação do solo e a criação de uma estrutura coesa e resistente (Duarte, 2013). O processo de compactação é realizado em camadas sucessivas, e a adição de água durante a compactação é limitada para evitar excessos, mantendo o solo húmido em vez de saturado. A compactação manual é conhecida por ser um processo demorado, no entanto, atualmente, é possível empregar técnicas mecanizadas para acelerar a compactação, utilizando compactadores mecânicos que resultam em uma massa mais homogênea e compacta (Duarte, 2013). As cofragens podem ser móveis ou removíveis, dependendo das dimensões das estruturas e da abordagem adotada (Neves, 2011).

A técnica construtiva da taipa apresenta vantagens como baixo consumo de água, resistência em diferentes condições climáticas e facilidade de implementação em regiões secas. No entanto, ela também apresenta desafios, como a necessidade de esforço humano considerável no fabrico artesanal, requisitos de espaço significativo para secagem, dificuldade em obter dimensões regulares e a necessidade de proteção adequada em climas rigorosos (Lourenço, 2002). A contínua pesquisa e inovação na área têm buscado aprimorar a técnica da taipa, tornando-a mais acessível, eficiente e sustentável, mantendo-se fiel à sua rica tradição e valor histórico-cultural (Botinas, 2017).

#### **2.5.3.4. Pau-a-pique**

O pau-a-pique é uma antiga técnica de construção que utiliza materiais naturais, como madeira e barro, para erguer paredes e estruturas. Também conhecido como "taipa de mão", o pau-a-pique é uma forma de arquitetura vernacular que tem sido empregada em diferentes partes do mundo ao longo dos séculos. Esta técnica consiste em criar um entramado de madeira, frequentemente utilizando bambu, e aplicar o barro através de lançamento e compactação manual. Nesta técnica de construção, a terra desempenha o papel de preencher os vazios deixados pelo entrelaçamento de madeiras, sendo um elemento coadjuvante na estrutura (Borges e Colombo, 2009).

O processo de construção do pau-a-pique começa com a preparação da estrutura de sustentação, geralmente feita com pilares de madeira, chamados de "pau". Esses pilares são posicionados verticalmente a uma determinada distância um do outro, formando a estrutura esquelética da parede (Santiago, 2001).

Uma vez que a estrutura de suporte esteja pronta, são adicionadas as paredes de pau-a-pique. O material básico utilizado é o barro, que é misturado com palha, capim, fibras vegetais ou esterco para aumentar a resistência e a coesão. Essa mistura é então aplicada entre os pilares de madeira,



camada por camada, utilizando-se as mãos ou ferramentas simples, como colheres de pedreiro ou paus.

A construção das paredes de pau-a-pique requer cuidado e atenção para garantir que o barro esteja corretamente compactado e aderido aos pilares de madeira. À medida que as camadas são adicionadas, a parede é gradualmente nivelada e alisada para proporcionar uma superfície uniforme.

Uma vez concluída a construção das paredes, é necessário permitir que o barro seque e endureça. Esse período de secagem, conhecido como cura, pode levar várias semanas ou até meses, dependendo das condições climáticas. Durante a cura, é importante proteger as paredes de pau-a-pique da chuva e da humidade excessiva para evitar danos.

Em várias regiões de Moçambique, incluindo a Província de Maputo, ainda é bastante comum a utilização da técnica de pau-a-pique na construção de habitações (Figura 2-13). Em Moçambique esta técnica é igualmente conhecida como “maticado”. Antes da chegada dos colonizadores europeus em Moçambique, essa técnica já era amplamente empregada pelas comunidades locais, principalmente nas regiões onde havia escassez de materiais para construção. Os habitantes utilizavam madeira, paus roliços e vedações feitas de palha e folhagens para construir seus abrigos.

Uma das vantagens do pau-a-pique é a utilização de materiais naturais facilmente encontrados na região, o que reduz os custos e o impacto ambiental associados à construção. Além disso, a combinação de barro e madeira proporciona um excelente isolamento térmico, mantendo o interior das estruturas fresco no verão e quente no inverno.

No entanto, o pau-a-pique também possui algumas limitações. As paredes podem ser vulneráveis ao ataque por roedores e à erosão causada pela água, exigindo cuidados adequados, como o uso de beirais de telhado e revestimentos protetores. Além disso, a técnica requer habilidades específicas de construção e pode ser trabalhosa, especialmente para estruturas maiores.

Apesar das limitações, o pau-a-pique continua sendo utilizado em muitas partes do mundo, seja como uma maneira de preservar técnicas tradicionais de construção, seja como uma opção sustentável e de baixo custo para projetos contemporâneos. A técnica valoriza a simplicidade, a conexão com a natureza e a sabedoria das comunidades locais, oferecendo uma abordagem inspiradora e alternativa para a construção de edifícios duráveis e harmoniosos.

#### **2.5.4. Patologias associadas à construção em terra**

As construções em terra, independentemente da sua tipologia e solução adotada, têm um grau de vulnerabilidade que as tornam suscetíveis a alterações estruturais e não estruturais que podem prejudicar seu funcionamento e integridade. É importante estudar e identificar as causas e os processos que promovem a degradação das construções em terra para agir de forma mais eficaz na prevenção e reabilitação. Algumas das principais causas de danos estruturais nas paredes de terra

crua são as ações mecânicas, incluindo a ação sísmica, que pode levar desde a fendilhação das paredes (resultando na abertura de caminhos preferenciais para a entrada de água) até à sua própria rotura e colapso. Deficiências construtivas podem agravar os efeitos da ação sísmica (Wachilala, 2018).

A erosão é outra causa comum de deterioração nas paredes de terra crua, sendo causada pela chuva, vento com elementos em suspensão, seres vivos e principalmente pelos sais solúveis higroscópicos. A chuva, seja direta ou repetida, desgasta gradualmente a superfície externa dos edifícios. A água da chuva que escorre sobre as superfícies contribui para a erosão, enquanto as gotas que atingem o solo ou elementos salientes ou reentrantes causam erosão nas áreas de contato. O vento exerce uma ação mecânica, especialmente quando carrega partículas maiores em suspensão.

A infiltração e absorção de água também são problemas recorrentes nas construções de terra crua. A presença de água em contato com os elementos de construção resulta na absorção dessa água pelas paredes de terra crua, seja por ascensão capilar, difusão capilar ou infiltração através de fissuras existentes. A água pode ter origem na chuva, no solo ou em acidentes, como roturas em tubulações. As principais consequências da infiltração e absorção de água incluem a diminuição da resistência mecânica e do isolamento térmico, transporte de sais solúveis higroscópicos, dilatação/retração do material e o desenvolvimento de vegetação parasitária (Botinas, 2017).

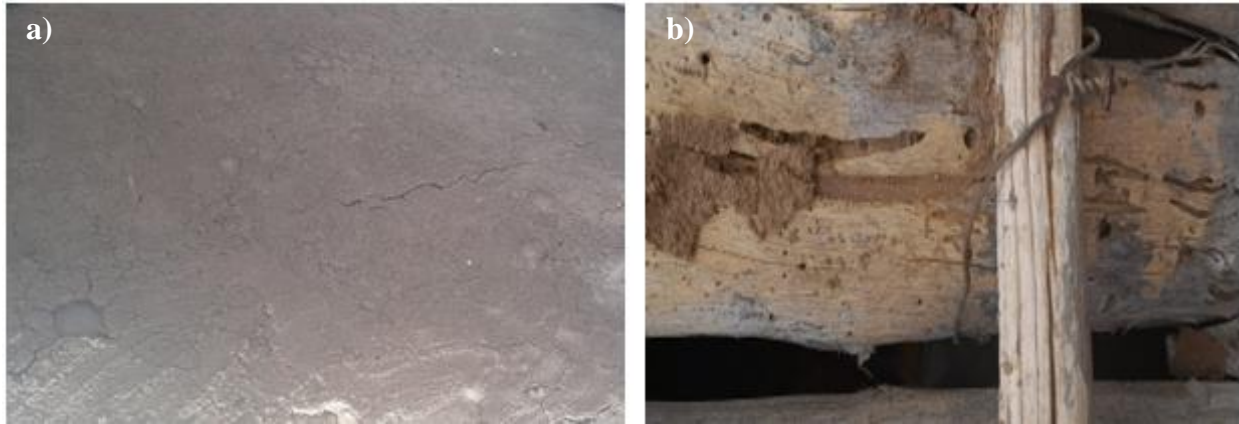
A condensação de vapor de água também pode afetar as construções em terra crua. Situações que propiciam a condensação excessiva de vapor de água, seja na superfície ou no interior dos elementos da construção, podem resultar no humedecimento do material. Isso geralmente ocorre na superfície interna em contato com o exterior, na interface entre materiais diferentes ou até mesmo dentro de um material. As consequências da condensação incluem o risco de degradação devido ao desenvolvimento de fungos e odores, redução do isolamento térmico, diminuição local da resistência mecânica e o risco de descolamento de acabamentos ou revestimentos devido à hidratação/cristalização dos sais solúveis higroscópicos (Inacio, 2016).

Nas comunidades visitadas no Distrito de Moamba, foi possível identificar como principal patologia que afeta as construções locais, a fissuração das paredes devido aos processos de retração das argilas durante períodos de clima seco (Figura 2-19a)). Essa condição pode levar à deterioração das estruturas, comprometendo a integridade das edificações.

Outro problema recorrente é o apodrecimento das estruturas de estacas (madeira/caniço) utilizadas na construção do pau-a-pique, ocasionado pela ação das térmitas, localmente designadas murmuché (Figura 2-19b). Essa praga, comumente encontrada na região, contribui para o desgaste das estacas, comprometendo a estabilidade da estrutura como um todo.

É importante ressaltar que essas patologias não estão restritas apenas à saúde das construções, mas também podem afetar a qualidade de vida e segurança dos habitantes das comunidades de Moamba. A fissuração das paredes pode resultar em infiltrações, comprometendo a habitabilidade das residências e causando danos aos bens pessoais dos moradores.

Além disso, o apodrecimento das estruturas de estacas pode levar ao colapso parcial ou total das construções, aumentando o risco de acidentes e colocando em perigo a vida das pessoas que nelas habitam.



**Figura 2-19:** a) Parede revestida de solo argiloso apresentando fissuras de retração da argila. b) Estrutura de madeira danificada por térmitas (murmuché). Fonte: Tércia Novele, 2023.

Para prevenir e tratar as diferentes patologias acima mencionadas, são necessárias medidas adequadas. No caso das fundações, é importante garantir um solo bem compactado e estável, podendo-se realizar a consolidação do terreno, se necessário, por meio de injeções de argamassas. Para evitar os efeitos negativos da água, é necessário afastá-la das fundações por meio de uma adequada drenagem e criar uma barreira impermeável entre o embasamento e a parede. A proteção das fachadas contra agentes atmosféricos e a correta manutenção das coberturas também são fundamentais para evitar problemas nas paredes.

Além disso, o uso de revestimentos adequados, tintas, argamassas de tratamento de fissuras e sistemas de drenagem das águas da cobertura pode ajudar a proteger as paredes, por forma a garantir a durabilidade e a integridade das construções em terra ao longo do tempo. No caso das comunidades do Distrito de Moamba, as casas são revestidas por plásticos para as proteger da água das chuvas.

## 2.6. Construção em Terra e Sustentabilidade

A sustentabilidade é um tema que tem ganhado cada vez mais relevância na sociedade atual. A crescente preocupação com as mudanças climáticas, a degradação do meio ambiente, a escassez de recursos naturais e a desigualdade social têm despertado a atenção de académicos e investigadores na procura de soluções para garantir um futuro sustentável para as gerações presentes e futuras.

A sustentabilidade é um conceito multidimensional que engloba aspectos ambientais, sociais, económicos e culturais. Segundo o Relatório Brundtland, publicado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU em 1987, a sustentabilidade é definida como "o

desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades". Isso implica em buscar um equilíbrio entre o crescimento económico, a justiça social e a proteção do meio ambiente, de forma a garantir a harmonia entre as necessidades humanas e os limites do planeta.

A busca pela sustentabilidade enfrenta diversos desafios. Um dos principais é a crescente pressão sobre os recursos naturais, como a água, o ar, o solo e a biodiversidade, devido ao aumento da população mundial e ao modelo de produção e consumo insustentável. Outro desafio é a desigualdade social, que afeta a distribuição de recursos e oportunidades entre as diferentes camadas da sociedade, comprometendo a equidade e a justiça social. Além disso, a falta de consciência ecológica, a resistência a mudanças, a falta de políticas públicas adequadas e a ausência de cooperação internacional também são obstáculos a serem superados.

Apesar dos desafios, existem diversas perspectivas promissoras para a sustentabilidade. A economia verde, por exemplo, propõe uma transição para um modelo económico mais sustentável, baseado na eficiência no uso de recursos naturais e na inovação tecnológica.

De acordo com Torgal e Jalali (2011), a indústria da construção desempenha um papel significativo na economia mundial, sendo responsável por uma parcela substancial do emprego e da atividade económica. No entanto, é importante reconhecer que, juntamente com seu papel económico, a indústria da construção também enfrenta desafios significativos em relação à sustentabilidade. Por exemplo, estima-se que a construção seja responsável por uma parcela substancial das emissões globais de carbono, representando cerca de 40% dessas emissões. Além disso, a indústria consome uma quantidade considerável de recursos não renováveis, contribuindo para o esgotamento desses recursos e gerando uma quantidade significativa de resíduos.

Diante desse contexto, é crucial que sejam adotadas medidas e estratégias para promover uma construção mais sustentável à escala global. A adoção da construção sustentável tem-se tornado uma temática relevante na área da engenharia civil e arquitetura, com o crescente interesse em práticas que visam reduzir o impacto ambiental da indústria da construção e promover um desenvolvimento mais sustentável. A construção de edifícios verdes, o uso de materiais sustentáveis, a eficiência energética, a gestão de resíduos e a consideração de aspectos sociais são algumas das estratégias que têm sido adotadas para tornar a construção mais sustentável.

Outra prática de construção sustentável é o uso de materiais sustentáveis como o solo/terra através da prática de construção em terra. Como foi referido na secção 2.5, este tipo de construção utiliza materiais naturais e renováveis, como a terra crua, para a construção de paredes, pisos e até mesmo coberturas.

Uma das principais vantagens da construção em terra como construção sustentável é a redução do consumo de energia e emissão de carbono durante o processo construtivo. Ao contrário dos materiais convencionais, como o betão e o aço, que exigem um alto consumo de energia em sua produção, a terra crua é abundante, de baixo custo e não requer um processo industrial intensivo. Além disso, a terra possui uma excelente capacidade de isolamento térmico, proporcionando conforto ambiental e reduzindo a necessidade de sistemas de climatização.

Outra vantagem da construção em terra é a sua capacidade de regular a humidade interna dos ambientes, o que contribui para a saúde e o bem-estar dos ocupantes. A terra crua é capaz de absorver e libertar água de forma equilibrada, ajudando a controlar a humidade relativa do ar e prevenindo problemas como o mofo e a condensação.

Além disso, a construção em terra promove a utilização de materiais locais, reduzindo a necessidade de transporte e minimizando os impactos ambientais associados. Essa prática valoriza os recursos disponíveis em cada região e estimula a economia local, promovendo o desenvolvimento sustentável.

No entanto, é importante ressaltar que a construção em terra requer conhecimentos técnicos adequados e boas práticas construtivas para garantir a durabilidade e a resistência das estruturas. É fundamental realizar estudos geotécnicos, utilizar técnicas de estabilização adequadas e proteger as paredes de terra dos efeitos da chuva e da humidade.

Em resumo, a construção em terra é uma opção sustentável e promissora, capaz de unir tradição e inovação. Ao utilizar materiais naturais e renováveis, ela contribui para a preservação do meio ambiente, a redução do consumo de energia e a promoção de ambientes saudáveis. É uma prática que valoriza a cultura local, estimula a economia e oferece soluções eficientes para as demandas da construção sustentável.

## **2.7. Construção em Terra e Alterações Climáticas**

As alterações climáticas representam um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta atualmente, com impactos significativos em diversas áreas, incluindo a construção civil. A indústria da construção é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa, que são os principais impulsionadores do aquecimento global (Bardgett et al., 2008). No entanto, também apresenta um enorme potencial para contribuir para a mitigação das alterações climáticas e para a adaptação aos seus efeitos por meio de práticas de construção sustentável.

As alterações climáticas têm um impacto significativo na construção em terra, bem como em outros tipos de construção. O aumento das temperaturas médias, eventos climáticos extremos tais como, chuvas intensas, secas prolongadas e a elevação do nível do mar, são apenas alguns exemplos dos efeitos das alterações climáticas que podem afetar a construção em terra (Uryu, 2022).

Um dos principais benefícios da construção em terra em relação às alterações climáticas é o seu baixo impacto ambiental. A extração e produção de materiais de construção convencionais, como o cimento, são fontes significativas de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global. A construção em terra, por outro lado, utiliza materiais naturais e locais, que têm uma pegada de carbono muito menor, ajudando a reduzir as emissões de gases de efeito estufa associadas à construção (Inácio, 2016).

Outro aspecto importante é a capacidade que a construção em terra tem de se adaptar às alterações climáticas. A terra crua tem propriedades térmicas e de isolamento acústico que ajudam a regular a temperatura interna dos edifícios, proporcionando conforto térmico durante variações climáticas sazonais. Além disso, a terra tem uma alta capacidade de armazenamento de carbono, o que pode ajudar a mitigar as emissões de gases de efeito estufa e contribuir para a captura de carbono, auxiliando na redução dos impactos das alterações climáticas.

No entanto, a construção em terra também enfrenta desafios relacionados com as alterações climáticas. A erosão do solo, a perda de cobertura vegetal, a degradação do solo e a exposição a eventos climáticos extremos podem afetar a disponibilidade e qualidade do solo para a construção em terra. Além disso, a vulnerabilidade a enchentes e deslizamentos de terra pode representar riscos para as estruturas de terra crua, exigindo medidas adequadas de mitigação e adaptação.

Para lidar com esses desafios, é essencial considerar a resiliência climática na construção em terra. Isso pode incluir a adoção de técnicas adequadas de proteção do solo, como a criação de barreiras vegetais, a gestão adequada da água, a utilização de técnicas de drenagem sustentável e a incorporação de elementos de *design* que aumentem a resistência da construção em terra face aos efeitos das alterações climáticas.

Outro aspecto relevante é a educação e capacitação dos profissionais envolvidos na construção em terra, para garantir a compreensão dos princípios de resiliência climática e a aplicação de melhores práticas na concepção, construção e manutenção de edifícios em terra. A pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas construtivas também são importantes para aprimorar a resiliência climática da construção em terra.

Além disso, é fundamental considerar a localização e a seleção adequada do sítio para a construção em terra, levando em conta as características climáticas e geográficas da região. Por exemplo, em áreas suscetíveis a inundações, a construção em terra pode ser elevada ou adaptada para resistir a esse tipo de evento climático extremo. Em regiões com riscos de deslizamentos de terra, a estabilização do solo e a escolha de materiais resistentes à erosão são importantes para garantir a segurança das estruturas em terra.

Outro aspecto relevante é o planeamento de edifícios em terra para o futuro, considerando as alterações climáticas projetadas. É necessário levar em conta as previsões de aumento das temperaturas, eventos climáticos extremos e a elevação do nível do mar para projetar e construir edifícios em terra, a fim de garantir sua resiliência e durabilidade face a esses desafios.

Além dos aspectos técnicos, a construção em terra também pode ter um papel importante na promoção da sustentabilidade social e económica. A construção em terra pode ser uma forma acessível e viável de construção em comunidades rurais e urbanas, promovendo a participação social da região, o uso de mão-de-obra e materiais locais, e a preservação das tradições culturais e conhecimentos tradicionais de construção em terra.

Em conclusão, a construção em terra pode ser uma abordagem sustentável e resiliente para a construção de edifícios, especialmente num contexto de alterações climáticas. Considerar a

resiliência climática na concepção, construção e manutenção de edifícios em terra é fundamental para garantir sua durabilidade e adaptabilidade às alterações climáticas. Além disso, a promoção da sustentabilidade social e económica também é um aspecto relevante na discussão sobre as alterações climáticas e a construção em terra. Mais pesquisas, capacitação e melhores práticas são necessárias para impulsionar o uso sustentável e resiliente da construção em terra como uma opção de construção viável para o futuro.

## CAPÍTULO III: ENQUADRAMENTO FÍSICO E SOCIAL

---



## 3. ENQUADRAMENTO FÍSICO E SOCIAL

### 3.1. Enquadramento Físico

#### 3.1.1. Geografia

A zona de estudo localiza-se na Província de Maputo, concretamente no Distrito de Moamba, na região Sul de Moçambique na África Austral (Figura 3-1). O Distrito de Moamba está situado na parte Norte da Província de Maputo, a 75 Km da capital do país, Cidade de Maputo, e está posicionado entre os paralelos 24° 27' e 25° 59' Sul e meridianos 31° 59' e 32° 37' Este. O Distrito de Moamba tem como limites geográficos, a Norte o Rio Massiontonto, que o separa do Distrito de Magude, a Sul os Distritos de Boane e Namaacha, a Este os Distritos da Manhiça e Marracuene e a Oeste uma linha de fronteira artificial com a Província Sul-Africana do Transvaal.

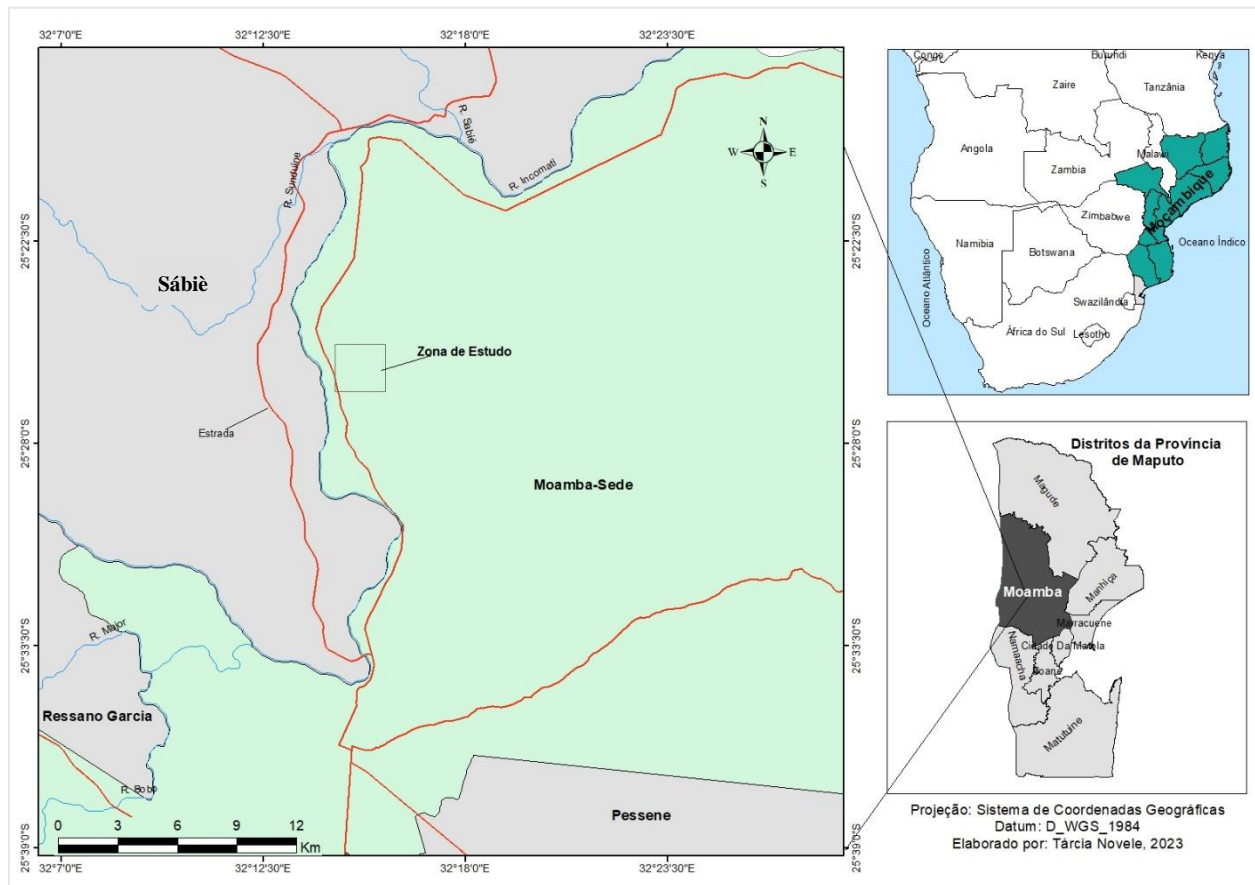


Figura 3-1: Mapa de localização da zona de estudo, elaborado com base nos shapefiles da CENACARTA, 2016.

O Distrito de Moamba apresenta uma configuração em triângulo com uma extensão de 150 km, no sentido Norte – Sul, compreendida entre Panjane junto ao rio Massiontonto e a ribeira de Moveene, e no sentido Leste – Oeste, uma extensão de 61 km no paralelo de Sábiè (MAE, 2005). No Distrito de Moamba, o estudo foi realizado concretamente no Povoado de Goane 1, localizado

no Posto Administrativo de Moamba-Sede (Figura 3-1), um dos 4 Postos Administrativos do Distrito.

### 3.1.2. Clima e hidrografia

Segundo a classificação de Koppen, o Distrito de Moamba apresenta predominantemente um clima do tipo BS, caracterizado como clima seco de estepe, com temperaturas médias anuais variando entre 23° e 24° C e uma pluviosidade anual entre 580 e 590 mm. Próximo à fronteira com Ressano Garcia, o clima é classificado como BSW, de estepe com inverno seco, apresentando uma temperatura média anual semelhante e uma pluviosidade inferior em relação ao restante Distrito.

O Distrito de Moamba possui duas estações distintas: uma estação quente, com temperaturas mais elevadas e pluviosidade acentuada, que ocorre de Outubro a Março e outra estação fresca, que se estende de abril a setembro.

A pluviosidade média anual é de aproximadamente 571 mm, com maior incidência entre dezembro e fevereiro. A evaporação potencial média anual é alta, variando entre 1.433 mm e 1.500 mm. Esses valores apresentam uma leve variação crescente de Sábìe para Ressano Garcia e Moamba-Sede.

Como se pode observar na Figura 3-1, o Distrito de Moamba é atravessado pelo rio Incomáti que dá o nome à sua importante bacia, e nasce na África do Sul, no planalto de Transvaal, entra em Moçambique pela garganta de Komatipoort e desagua nas proximidades da Vila de Moamba. Os seus afluentes em Moçambique são o Massintonto e o Sábìe localizados a norte do Distrito.

O regime destes rios é periódico com alimentação essencialmente pluvial, originando um caudal elevado na época das chuvas no período de Dezembro a Abril e, no Sábìe, de Janeiro a Março, praticamente desaparecendo no período seco.

A bacia do Incomáti abastece o sistema de regadio Sábìe-Incomáti e a central hidroelétrica de Corumana, enquanto que no rio Sábìe foi construída a barragem hidroelétrica de Corumana.

### 3.1.3. Geologia e geomorfologia

Moçambique pode ser subdividido em duas regiões geológico-estruturais, um soco Pré-câmbrico com uma superfície de cerca de 534.000 km<sup>2</sup> e uma região Fanerozoica com cerca de 237.000 km<sup>2</sup>. A Província de Maputo é principalmente composta por formações geológicas sedimentares pertencentes ao Fanerozoico e por rochas vulcânicas e sedimentares do supergrupo Karoo.

Segundo MAE (2005), a geologia do Distrito de Moamba é caracterizada por diversas formações geológicas que datam da sedimentação do Karoo formando bacias irregulares. Essa sedimentação teve início na região da Suazilândia e no Transvaal Lowveld, como resultado da fragmentação da

antiga massa continental conhecida como Gondwanalândia. O termo "Karoo" deriva da área homónima na África do Sul, onde esse sistema geológico foi amplamente representado, formando grandes bacias com uma sequência geológica bem caracterizada, contendo fósseis importantes. No entanto, em Moçambique, as bacias apresentam uma distribuição irregular. Os agrupamentos Dwyka, Ecca, Beaufort e Stormberg desta bacia são caracterizados por tilitos, argilas xistosas e areninos respetivamente (INIA e DTA, 1993). Em direção a Este, essas rochas são cobertas por lavas do Stormberg superior, atualmente chamada série superior. Erupções básicas com fissuras tiveram lugar na transição do Triássico ao Jurássico, do Natal ao rio Zambeze, e formaram a cadeia dos Libombos no Sul de Moçambique.

A cadeia dos Libombos é a mais impressionante de todas as estruturas de Karoo (INIA e DTA, 1993). Esta cadeia estende-se mais ou menos do Norte a Sul com mais de 450 km, do Natal ao vale do Limpopo e forma uma estreita faixa de 20 a 25 km de rochas vulcânicas inclinadas para Este. A principal escarpa dos Libombos a Oeste de Moçambique é formada por riolitos e andesitos. Também em direção a Este, as lavas basálticas intercaladas são menos resistentes à erosão e uma *cuesta* riolítica foi formada. Estas montanhas alcançam uma altitude máxima de 801 m na Namaacha e dão origem ao monte Imponduine (INIA e DTA, 1993).

A cadeia dos Libombos foi recortada formando um pediplano durante o Mioceno, coberto com agrupamentos de solos Rv e pRI. A continuidade topográfica da cadeia é quebrada em vários lugares pelos grandes rios que correm de Oeste a Este. A Este, a cadeia tem uma acentuada inclinação em direção ao baixo planalto basáltico de Impaputo dando origem ao agrupamento de solos Bv, Bp e BI, separada a Este pela importante *cuesta* riolítica dos Pequenos Libombos e forma o agrupamento de solos RI. A última descarga de lava basáltica ocorrida durante o Cretácico está situada no vale de Movene, a Este dos Pequenos Libombos e a Oeste da Bacia Sedimentar. Algumas intrusões, tais como cones e diques de dolerito e sienito nefelínico são encontradas nas montanhas vulcânicas dos Libombos.

A Tabela 3-1 descreve a cronostratigrafia do Pré-Quaternário no Sul de Moçambique, onde se encontra a Província de Maputo.

A principal característica da paisagem Quaternária é a presença de um manto de aproximadamente 20 metros de espessura, com coloração castanho-amarelada, composição salino-sódica, calcário e textura franco-argilo-arenosa. Esse manto forma extensas áreas de suave inclinação, conhecidas como Mananga. Próximo à base do Mananga, encontra-se frequentemente uma camada de cascalho de granulometria arredondada, ilustrada pelos agrupamentos de solos M1, M2, M3 e M4.

Sobre o Mananga, encontra-se uma cobertura chamada Pós-Mananga, que apresenta manchas de coloração castanho-avermelhada a alaranjada, próxima dos vales (representadas pelo agrupamento de solo P). Em planaltos, essa cobertura pode ser composta por uma camada superficial de areia (agrupamentos de solos A) ou por dunas longitudinais.

**Tabela 3-1:** Cronostratigrafia do Pré Quaternário no Sul de Moçambique (Foster, 1975; Cilek, 1982; King, 1976; Dingle et al., 1983, citados em INIA e DTA, 1993)

<b>Pré . câmbrico</b>	Cratões Kaapvaal e Rodésiano ( $3-2.6 \cdot 10^9$ ) anos a.C
	Bacia intercratónica; agrupamento superior Transvaal; quartzitos, arcoses, conglomerados, laços de ferrite ( $2.25 \cdot 10^9$ anos a.C); cinta de Limpopo ( $2 \cdot 10^9$ anos a.C)
<b>Karoo</b>	Planação Gondwana
	Sedimentos de Dwyka, Ecca, Beaufort e Stormberg
	Lavas de Stormberg superior: Drakensberg; fragmentação de Gondwanalândia; erupções fissúricas dos Libombos: riolito, basalto, dolorito ( $160 \cdot 10^6$ a.C)
<b>Cretácico Inferior mais Cenomaniano</b>	Transgressões de Barremiano, Aptiano, Albiano e Cenomaniano; formação de Maputo: arenitos glauconíticos
	Planação Cretácica
<b>Cretácico Superior a Paleoceno</b>	Arenitos continentais, arcoses e conglomerados (Boane) de Turoniano: formação de Sena
	Sedimentos marinhos de Senoniano-Paleoceno formação de Gruja: arenitos glauconíticos; sedimentos argilosos lagunares, hipersalinos e conglomerados
<b>Eoceno</b>	Sedimentos marinhos de Eoceno superior; formação de Salamanga: rochas calcárias, finas, glauconíticas
	Planação de Moorland (planação Africana)
<b>Oligoceno</b>	Sedimentos marinhos locais: argilas cinzentas de Maputo
<b>Mioceno</b>	Planação rolada (primeira Pós-Africana) nas plataformas dos Libombos
	Elevação tectónica e inclinação de Mioceno tardio
<b>Mioceno tardio e Plioceno</b>	Planação extensa (segunda Pós-Africana)
	Transgressões de conglomerado basal coberto por arenitos argilosos, calcários, formações de Tembe, de Santiago e de Santaca
<b>Plioceno tardio a Pleistoceno inferior</b>	Arenitos vermelhos, continentais, com cascalho basal; formações de Cacho e de Magude (colina de Boane – Estivel)

De acordo com a textura do subsolo e a posição topográfica em relação aos rios, o Mananga é subdividido em três unidades: Mananga superior, Mananga inferior e Mananga recente. Por sua vez, o Pós-Mananga é subdividido em diversos tipos de solos, incluindo argilo-arenosos vermelhos em inclinações basálticas, franco-argilo-arenosos vermelhos, areias de textura variável com manchas alaranjadas, solos vermelhos e limosos, além de solos de pouca profundidade que cobrem cascalho arredondado.

No Distrito de Moamba, o Quaternário apresenta características tais como, dunas inferiores, terraços e formações aluviais (Figura 3-2). Também são encontradas formações sedimentares nessa região.

O Distrito de Moamba é caracterizado por extensas planícies, predominantemente localizadas em altitudes inferiores a 100 m. A única elevação significativa na região é o monte Corumana, com 275 m de altura. O relevo do Distrito pode ser observado em três zonas distintas (Cumbe, 2008; MAE, 2005):

- **Vales e planícies suaves:** Essa zona possui altitudes médias entre 60 e 80 m. Caracteriza-se por uma topografia plana e suave, com poucas variações de relevo.
- **Pequenas elevações:** Essas elevações estão na faixa de 80 a 170 m de altitude e se estendem no sentido oeste. São colinas de tamanho reduzido que gradualmente se elevam em relação às planícies adjacentes.
- **Zonas acidentadas:** Essas áreas apresentam relevo mais acidentado, com altitudes que variam abruptamente entre 200 e 400 m. Essas zonas são uma extensão da cadeia dos Libombos, caracterizada por elevações mais pronunciadas e íngremes.

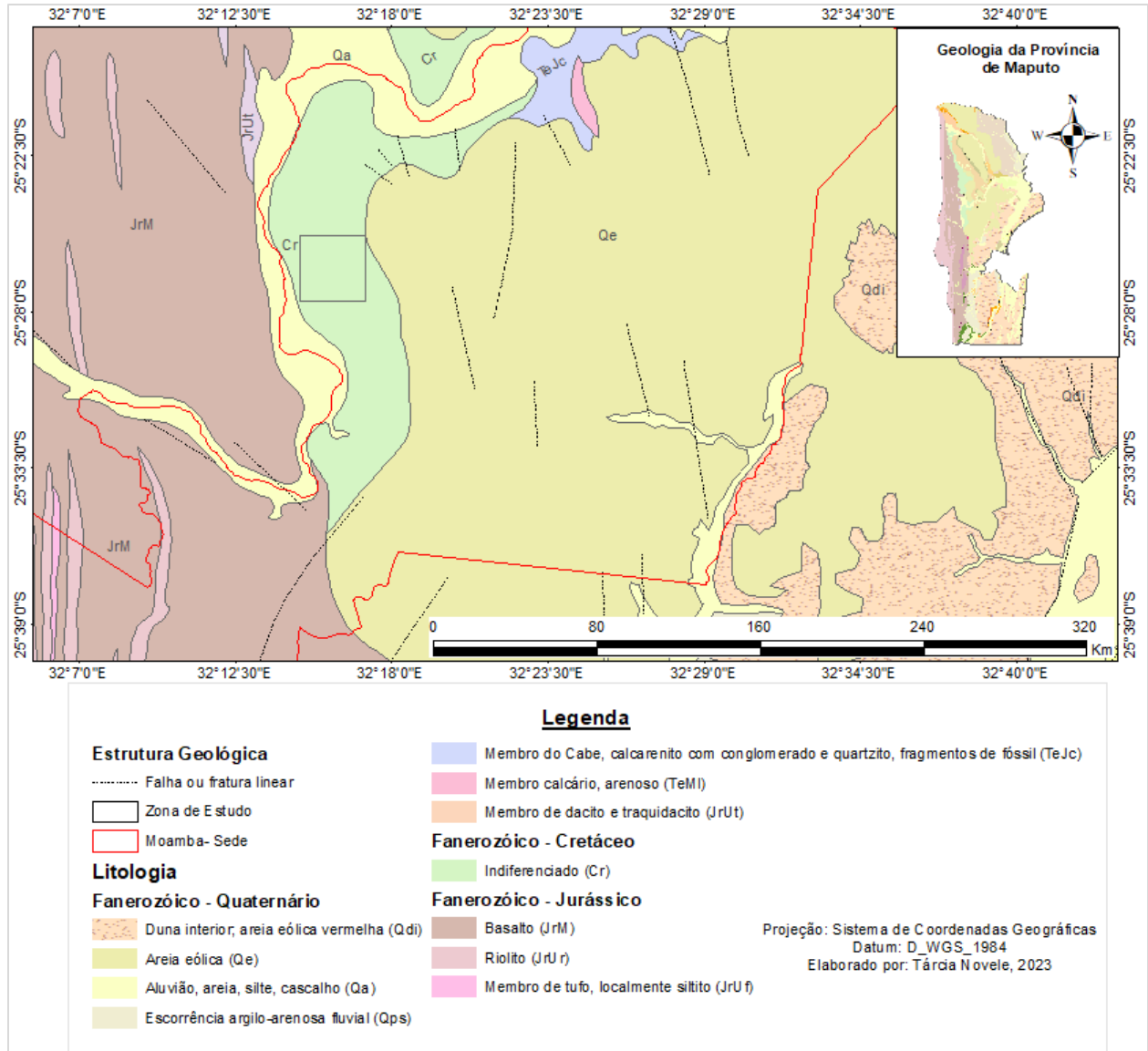


Figura 3-2: Mapa geológico da zona de estudo, elaborado a partir dos dados da CENACARTA.

### 3.1.4. Fisiografia, solos e vegetação

O Distrito da Moamba é caracterizado por solos de origem aluvionar e basáltica, de textura média e espessura variável. Os tipos de solos mais comuns neste distrito são, nomeadamente, os solos vermelhos, pedocálicos, pardos, hidromórficos e aluvionares (MAE, 2014).

Os solos vermelhos sobre o basalto de Moamba são caracterizados por uma camada superficial castanho-avermelhada, com variações de tonalidade que podem se apresentar muito escuras. Sua textura é predominantemente argilosa, com uma estrutura granular. A espessura dessa camada superficial varia de 10 a 25 cm e transita gradualmente para uma camada de solo vermelho profundo, de cor castanho-chocolate, apresentando uma alta concentração de argila, consolidação

intensa e presença de nódulos calcários. Essa camada profunda de solo é geralmente de espessura considerável. O horizonte "C" desses solos é composto por basalto em estado avançado de meteorização.

Os solos vermelhos representativos da região de Namaacha exibem características distintas dos anteriores. São solos vermelhos de textura argilo-arenosa a argilosa, com uma camada superficial castanho-avermelhada. A espessura desses solos varia muito, sendo comum encontrar solos de espessura reduzida com presença de pedras. A formação desses solos está relacionada com a atividade vulcânica pós-Karoo e certas rochas associadas ao basalto.

Os solos pedocálicos, terras negras e acidentadas pedocálicas são particularmente expressivos nos depósitos de barros negros de Moamba, que estão presentes na área geológica do basalto terciário, abrangendo Moamba e áreas adjacentes (MAE, 2014). Os solos negros, altamente argilosos e fissurados quando secos, estão geralmente associados aos solos vermelhos sobre o basalto (Figura 3-3). Em alguns casos, a camada superior desses solos pode ser relativamente espessa, variando de 30 a 60 cm, apresentando uma cor nitidamente negra, textura argilosa forte, estrutura geralmente granular, fissuras pronunciadas e presença de nódulos calcários. Em seguida, segue-se uma camada de terra castanho-avermelhada, também de textura argilosa forte, estrutura prismática, compacta, fissurada e com nódulos calcários, sobreposta a um basalto em estado avançado de meteorização.

Os solos pardos podem ser subdivididos em duas categorias: pardo-avermelhados e pardo-acidentados das regiões áridas e semiáridas. Esses solos apresentam um horizonte superficial com aproximadamente 30 cm de espessura, de coloração pardo-acidentada, textura franco-arenosa, granulação solta e sobreposição em camadas. Em geral, esses solos apresentam uma tonalidade marrom-avermelhada leve, textura argilosa compacta, muitas concreções calcárias e um pH de aproximadamente 8.3 (MAE, 2005).

De um ponto de vista fitogeográfico, o Distrito de Moamba encontra-se situado na região Sudano-Zambeziana, inserida no contexto das savanas e florestas Sul-Africanas. Nesse sentido, é possível identificar algumas formações vegetais proeminentes no local, de acordo com o estudo realizado por Marques em 1976 citado em MAE (2005).

Uma das formações vegetais predominantes é a floresta de baixa altitude, a qual pode ser subdividida em três categorias distintas: fechada, medianamente fechada e aberta. A floresta fechada é particularmente notável em três regiões específicas: Muxia, Sábiè e próximo ao Rio Massintonto, ao Norte do Distrito, cobrindo aproximadamente 70% da área. Já a floresta medianamente fechada predomina na região noroeste do Posto Administrativo de Moamba-Sede, com uma cobertura vegetal variando entre 40% e 70%. Por fim, a floresta aberta, com cobertura entre 10% e 17%, está associada a pradarias e matagais, sendo estes últimos caracterizados por alturas entre 3 e 7 m. Esse tipo de vegetação é predominante na localidade de Pessene-Sede.

Outra formação vegetal relevante é a floresta arbustiva, que se estende ao longo da faixa fronteiriça a Oeste do Distrito, apresentando uma altura média entre 0,5 e 3 m.

Além disso, podem-se observar matagais, os quais são amplamente visíveis nas proximidades da albufeira de Corumana e em pequenas áreas próximas aos rios Moamba-Sede, Chinhanganine e Sudoeste do Distrito.

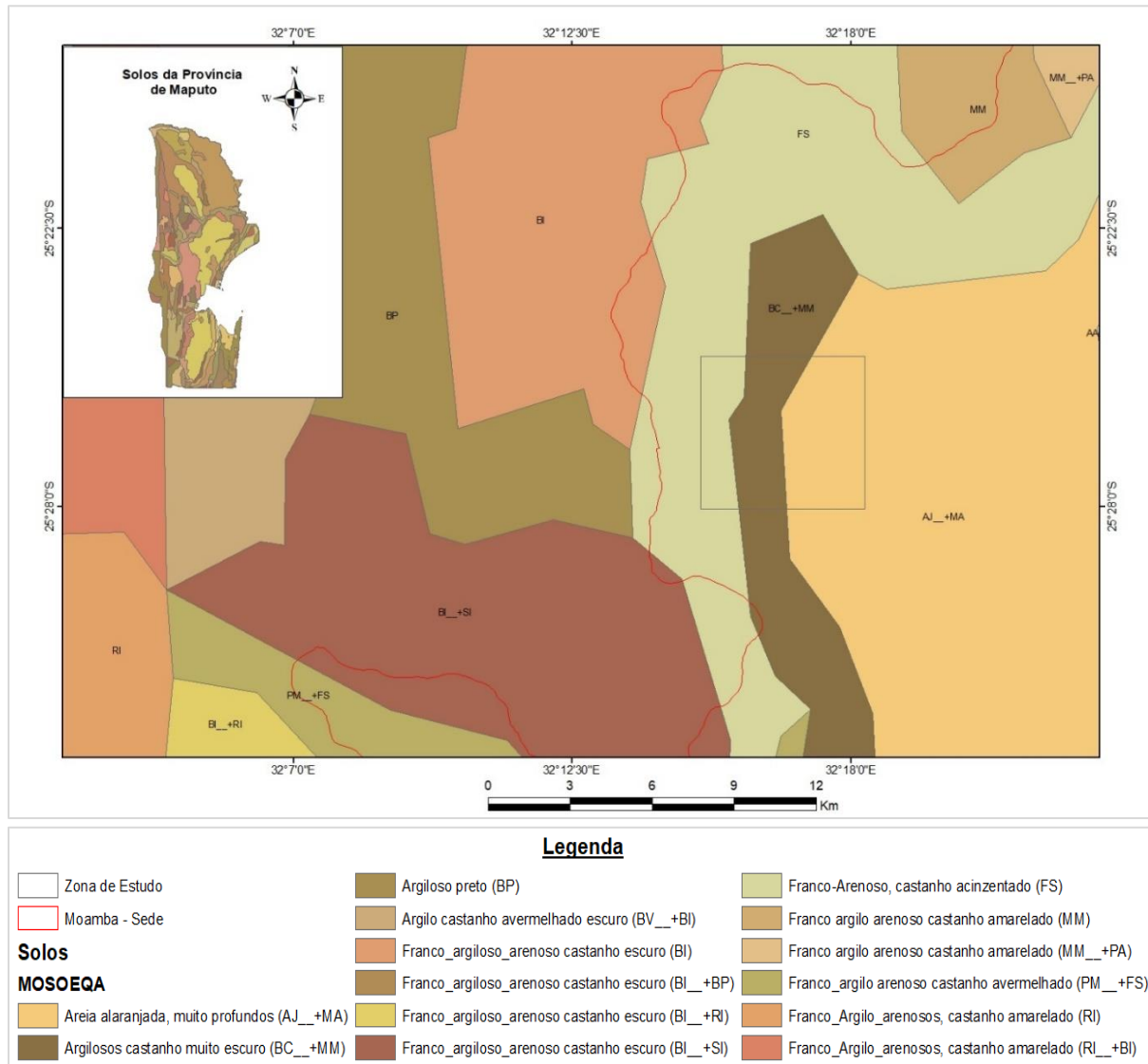


Figura 3-3: Mapa de solos da zona de estudo, elaborado a partir dos dados da CENACARTA.

### 3.2. Enquadramento Social

O Distrito de Moamba possui um contexto social diversificado e complexo. A população local é composta por diferentes grupos étnicos, incluindo tsongas, rongas, shangaanes e outras etnias presentes em Moçambique. A convivência entre esses grupos étnicos contribui para a riqueza cultural e a diversidade social da região. No que diz respeito à estrutura social, é importante destacar que o Distrito de Moamba apresenta uma predominância de comunidades rurais, com uma economia baseada principalmente na agricultura de subsistência. As famílias vivem geralmente



em comunidades organizadas em torno de estruturas tradicionais, onde os anciãos desempenham um papel importante na tomada de decisões e na resolução de conflitos.

No entanto, o Distrito também possui centros urbanos, como Moamba-Sede, que experimentam um crescimento populacional significativo devido à proximidade com a fronteira do país vizinho África do Sul, migração interna e ao desenvolvimento de infraestruturas. Esses centros urbanos têm uma dinâmica social mais complexa, com a presença de serviços básicos, comércio, instituições governamentais e outras atividades económicas.

É importante mencionar que existem desafios socioeconómicos no Distrito de Moamba. A pobreza é uma realidade para muitas famílias, especialmente aquelas que dependem da agricultura de subsistência. A falta de acesso a serviços básicos, como educação, saúde e água potável, também é uma preocupação em algumas áreas rurais. Além disso, a desigualdade social e a falta de oportunidades de emprego podem ser questões significativas que afetam a qualidade de vida da população.

No Distrito de Moamba, a forma de agrupamento predominante é a organização comunitária em torno de estruturas tradicionais e laços familiares. As comunidades locais geralmente se organizam em aldeias ou vilas, onde as famílias vivem próximas umas das outras. Esses agrupamentos são baseados em relações de parentesco e solidariedade, o que fortalece os laços sociais e promove a cooperação mútua. No entanto, tem sido observada uma tendência recente de dispersão espacial, com cada família vivendo num conjunto restrito de habitações (Censo, 2017). Este fenómeno é igualmente verificado na zona de estudo, onde ocorre uma disposição espacial dispersa das habitações da comunidade local (Figura 3-4).

Nessas áreas, as habitações são principalmente construídas de acordo com métodos "tradicionais", que refletem as diferenças étnicas e seguem a disposição espacial de cada grupo linguístico específico em Moamba. Materiais locais, como capim, caniço, madeira e argila, são amplamente utilizados na construção das habitações. A forma de habitação mais comum entre as famílias no Distrito de Moamba é a palhota/pau-a-pique, caracterizada por ter um pavimento de terra batida, um teto feito de chapas de zinco, palha e colmo, e paredes construídas com caniço, paus e terra. Esse tipo de habitação é amplamente adotado e representa a moradia modal na região de Moamba (Censo, 2017).

As habitações tradicionais, para além de fornecerem abrigo às famílias, também desempenham um papel significativo na preservação da identidade cultural e étnica das comunidades locais. Através do uso de materiais locais e técnicas de construção transmitidas ao longo das gerações, as habitações em Moamba refletem uma abordagem sustentável e respeitadora do ambiente, adaptada às condições locais. No que concerne a outras comodidades, prevalece um padrão dominante de famílias sem acesso a rádio e eletricidade, com uma bicicleta a cada dez famílias, e residindo em palhotas equipadas com latrinas e obtendo água diretamente de rios ou lagos (Censo, 2017). Essas condições são comumente observadas no Distrito de Moamba.

O Posto Administrativo de Moamba, seguido por Ressano Garcia, apresentam melhores condições habitacionais, onde a maioria das famílias reside em casas com acesso a água canalizada fora das

residências e latrinas. No entanto, apenas 15% das habitações nessas áreas possuem energia elétrica. As casas construídas com madeira e chapas de zinco representam cerca de 8% do total de habitações no Distrito, enquanto as que são feitas de blocos de cimento ou tijolos correspondem a aproximadamente 16%. A maioria dessas habitações está concentrada nas Vilas de Ressano Garcia (48%) e Moamba (25%) (Censo, 2017).



**Figura 3-4:** Distribuição das casas ao longo da zona de estudo.

Tal como foi mencionado na secção 2.5, o método de construção predominante nesta região é o pau-a-pique, cujas características do tipo de construção estão documentados na Tabela 3-2.

**Tabela 3-2:** Método de construção das casas de pau-a-pique.

<b>Método de Construção das Casas</b>	
Tipo de construção	Pau-a-pique
Nº de pessoas por equipa de trabalho	1 - 2
Tempo médio de edificação	2 -10 dias
Material de ligação	Nenhum
Fundações	30 – 70 cm de profundidade
Tipos de paredes	Maticados de caniço
Reboco	Solo e recentemente cimento
Cobertura	Chapas de zinco, palha e colmo

## CAPÍTULO IV: METODOLOGIA

---

## 4. METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento do presente estudo foi dividida em quatro fases:

- Revisão bibliográfica
- Trabalho de campo e amostragem
- Ensaios de laboratório
- Análise e interpretação dos dados, com redação do documento final

Na Figura 4.1 apresenta-se o organograma da metodologia seguida.

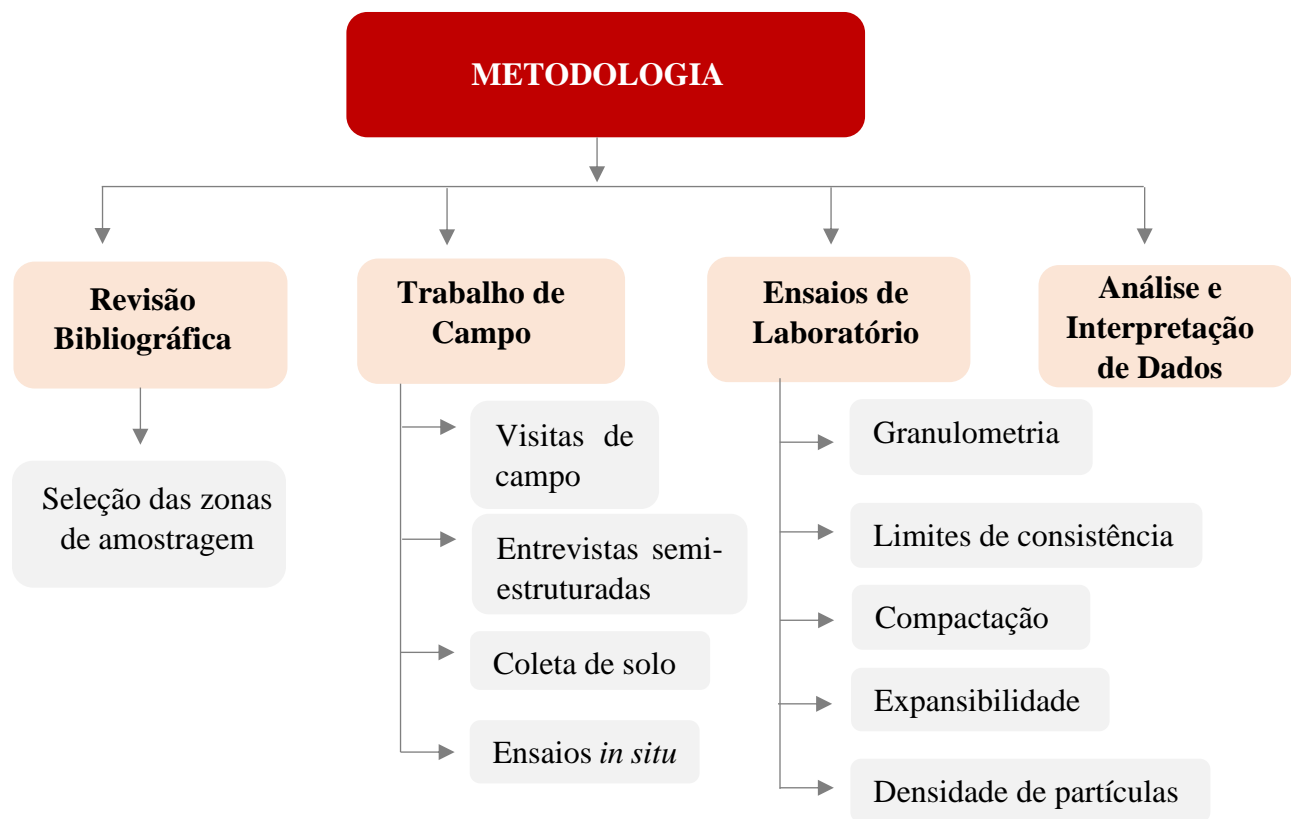


Figura 4-1: Organograma da metodologia seguida.

### 4.1. Revisão Bibliográfica

Durante a fase de revisão bibliográfica, foram realizadas consultas abrangentes em diversas fontes, incluindo livros, artigos científicos, relatórios técnicos e projetos de pesquisa relacionados com a temática do uso do solo como material de construção sustentável. A abrangência dos campos da geologia, pedologia, geomorfologia, fisiografia, geografia e hidrologia da Província de Maputo foi

considerada para obter uma compreensão mais ampla do contexto geográfico e ambiental da região.

Essa pesquisa bibliográfica alargada permitiu uma análise aprofundada das técnicas construtivas tradicionais e inovadoras que utilizam o solo como elemento principal. Foram consultados estudos que descrevem os diferentes tipos de solos presentes na Província de Maputo, suas propriedades físicas e químicas, bem como sua adequação como material de construção. Além disso, foram examinadas as técnicas de preparação do solo, compactação, estabilização e proteção contra intempéries, a fim de compreender os métodos mais eficientes e sustentáveis de utilização do solo na construção.

A revisão bibliográfica também permitiu identificar as áreas da Província de Maputo que apresentam maior potencial para estudos de campo e colheita de amostras. Com base nas informações obtidas e com uso de sistemas de informação geográfica como ArcGIS e Google Earth, foram selecionadas as regiões que representam diferentes características geológicas, pedológicas e geomorfológicas, a fim de obter uma amostragem abrangente e representativa.

Ainda durante a fase de revisão bibliográfica, foi possível preparar o guia de entrevista para as comunidades rurais (anexos 1 e 2). Esse guia serviu como base para a recolha de informações junto dos moradores locais, especialistas em construção civil e autoridades locais, durante as visitas de campo. A preparação adequada do guia de entrevista contribuiu para direcionar as perguntas e obter informações relevantes sobre as práticas de construção existentes, os materiais de construção utilizados e os desafios enfrentados pelas comunidades rurais em relação à habitação.

Adicionalmente, a revisão bibliográfica auxiliou na organização e preparação do material de amostragem necessário para colheita de solo durante as visitas de campo. Foram identificados os equipamentos e materiais adequados para colheita e armazenamento das amostras, garantindo a sua integridade e preservação para as análises laboratoriais posteriores.

## 4.2. Trabalho de Campo e Amostragem

A fase de trabalho de campo foi realizada com o objetivo de visualizar e mapear as construções em terra, realizar entrevistas semiestruturais nas comunidades, compreender as técnicas e processos de construção e recolher amostras de solo para serem submetidas aos ensaios necessários à caracterização geotécnica dos solos. Após a seleção dos locais para aprofundar os estudos na primeira fase, o trabalho de campo foi desenvolvido, seguindo as seguintes atividades:

- Visitas de reconhecimento do campo,
- Entrevistas semiestruturais,
- Colheita de amostras,
- Ensaios expeditos *in-situ*.

### **4.2.1. Visitas de reconhecimento do campo**

Durante as visitas de reconhecimento do campo, estabeleceu-se o primeiro contato com as comunidades residentes na área de estudo. O objetivo principal dessa etapa foi criar uma aproximação com as pessoas e apresentar o trabalho que seria desenvolvido, buscando estabelecer uma relação de confiança e respeito mútuo.

Durante essas visitas, foram identificadas as pessoas influentes na comunidade, como líderes comunitários, anciãos ou outros membros que desempenhavam um papel importante na organização e tomada de decisões da comunidade. Essas pessoas foram abordadas e envolvidas no processo, pois suas opiniões e conhecimentos eram valiosos para o sucesso da pesquisa.

Além disso, foram mapeadas as áreas específicas dentro das comunidades para a realização da amostragem dos solos. Essa etapa foi crucial para identificar os locais mais representativos e relevantes do ponto de vista geológico e socioeconómico, onde seriam colhidas as amostras de solo para posterior análise.

Durante as visitas de reconhecimento foi possível conhecer de perto a realidade das comunidades, observar as construções existentes utilizando o solo como material de construção e iniciar as interações com os moradores. Essa proximidade permitiu compreender melhor as necessidades, desafios e práticas construtivas tradicionais utilizadas pelas comunidades rurais no Distrito de Moamba.

### **4.2.2. Entrevistas semiestruturadas**

Durante o trabalho de campo, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com o objetivo de obter informações importantes sobre a história de construção das comunidades rurais da Província de Maputo. O foco das entrevistas era fazer o levantamento dos tipos de construção utilizados, as técnicas empregadas, os eventos climáticos enfrentados pelas comunidades e as consequências desses eventos nas construções locais.

Devido às limitações de tempo, o estudo abrangeu cerca de cinco famílias diferentes, envolvendo tanto homens como mulheres. Essa abordagem permitiu capturar diferentes pontos de vista, considerando que, tanto os homens como as mulheres desempenham papéis significativos nas práticas construtivas das comunidades rurais.

Durante as entrevistas, foram feitas perguntas sobre a origem das técnicas construtivas utilizadas, os materiais predominantes, os métodos de construção, as formas de manutenção e reparo das estruturas, bem como os desafios enfrentados ao longo do tempo, especialmente relacionados com os eventos climáticos adversos, como chuvas intensas, ventos fortes ou secas prolongadas.

Além disso, as entrevistas destinavam-se igualmente a compreender as consequências desses eventos climáticos nas construções locais, como danos estruturais, infiltração de água, desmoronamentos ou qualquer outra forma de degradação. Também foram exploradas as estratégias adotadas pelas comunidades para lidar com essas consequências tais como, reparos e

reforços nas construções, uso de materiais específicos ou adoção de técnicas construtivas adaptadas ao clima local.

As entrevistas permitiram obter uma visão detalhada das práticas construtivas tradicionais das comunidades, bem como dos desafios enfrentados e das soluções encontradas ao longo do tempo. Através dessas interações, foi possível compreender a importância do solo como material de construção sustentável nas comunidades rurais da Província de Maputo e explorar possíveis melhorias e inovações que pudessem ser aplicadas de modo a desenvolver e promover a construção sustentável nessas áreas.

### 4.2.3. Colheita de amostra

Durante a realização do trabalho de campo, a identificação dos locais de recolha de amostras de solo foi realizada em parceria com a comunidade local, sob a orientação do Líder Comunitário, que é considerado a autoridade máxima na região, após o Governo. É relevante mencionar que o solo utilizado pela comunidade para a construção é obtido dentro dos limites de seus terrenos residenciais, não havendo uma área designada específica para a obtenção do solo.

Com base nas informações fornecidas pela comunidade, foram selecionados três locais para a recolha das amostras de solo, nomeadamente: Ponto 1 (P1), Ponto 2 (P2) e Ponto 3 (P3). Esses pontos distam, aproximadamente 0,25 km entre o P1 e o P2, e cerca de 1,2 km entre o P2 e o P3 (conforme ilustrado na Figura 4-2). Essa distância entre os pontos permitiu observar possíveis variações nas propriedades do solo dentro da área de estudo.

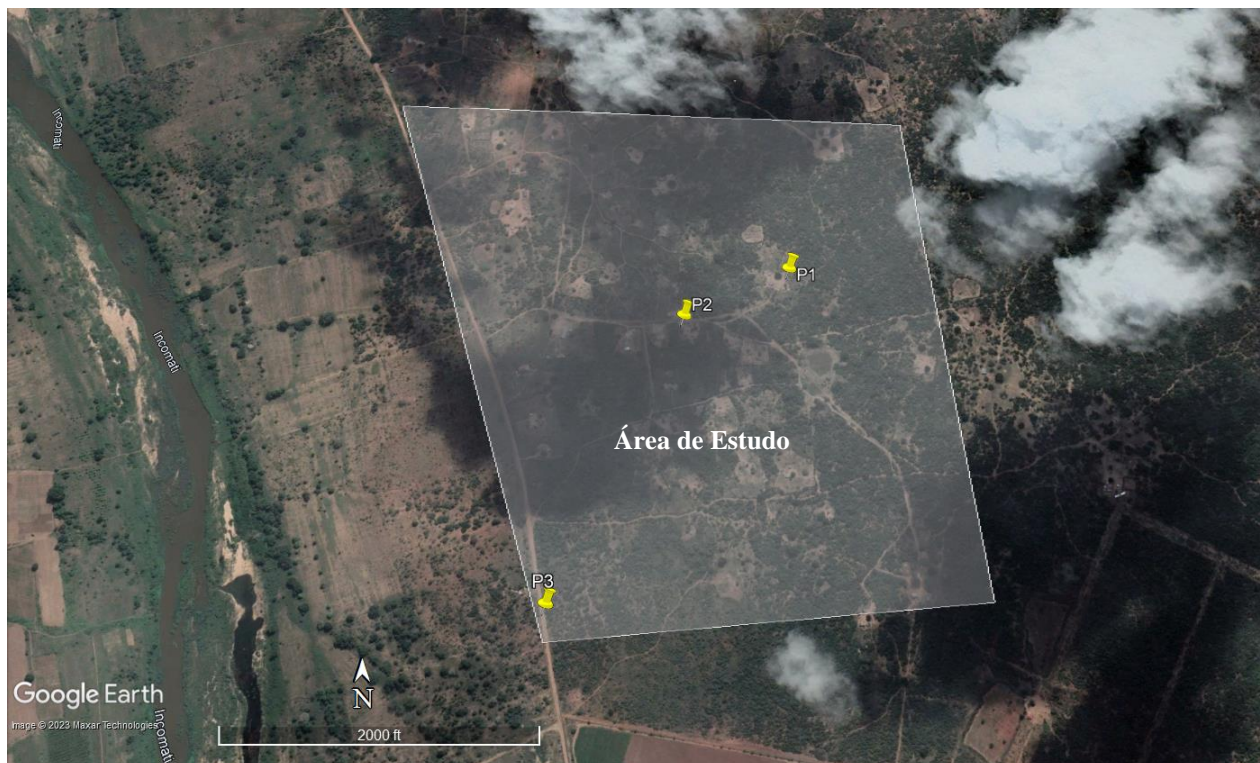


Figura 4-2: Localização dos pontos de amostragem. Elaborado por: Tárícia Novele, 2023

A colheita das amostras de solo ocorreu em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no dia 1 de Maio de 2023, e a segunda etapa no dia 10 de Maio de 2023. Foram colhidos 50 kg de solo dos pontos 1 e 3, e cerca de 10 kg de solo do ponto 2. A recolha das amostras foi realizada utilizando uma pá e sacos de plástico adequados para preservar a integridade do solo durante o transporte (Figura 4-3).

No entanto, devido ao elevado grau de compactação do solo nas áreas de colheita, a amostragem do solo mostrou-se desafiadora. A elevada compactação contribui para solos densos e difíceis de serem separados em camadas distintas, o que pode afetar a representatividade das amostras colhidas. Para superar esse desafio, foram empregados esforços adicionais para garantir a colheita de amostras representativas, incluindo o uso de ferramentas adequadas e técnicas de amostragem apropriadas.

Essas amostras de solo colhidas foram submetidas a análises laboratoriais e ensaios para a caracterização geotécnica dos solos. Os resultados dessas análises fornecem informações valiosas sobre as propriedades físicas e mecânicas do solo, contribuindo para a compreensão da viabilidade do solo como material de construção sustentável nas comunidades rurais do Distrito de Moamba.



**Figura 4-3:** a) Processo de amostragem. b) Amostra devidamente referenciada. c) Amostra de solo transformada por murmuché.



#### 4.2.4. Ensaios expeditos *in-situ*

Nesta etapa, foram realizados ensaios rápidos no local, com o intuito de obter conclusões preliminares sobre as propriedades qualitativas do solo presente na área de estudo. Esses ensaios foram conduzidos sem a necessidade de equipamentos técnicos sofisticados, pois eram de fácil execução. Os principais ensaios realizados incluíram:

**Testes táteis e visuais:** Foram realizadas observações visuais da cor do solo, sendo que, cores claras e brilhantes indicavam características de solo inorgânico, enquanto cores mais escuras indicavam solo orgânico. O teste do cheiro permitiu identificar a presença de húmus ou matéria orgânica em deterioração, enquanto o teste do brilho e do tato proporcionaram informações sobre a textura do solo, como a presença de argila, areia ou silte.



Figura 4-4: Solos identificados no campo.

Os testes que se referem a seguir foram conduzidos posteriormente à saída de campo devido a restrições de tempo. No entanto, esses testes são considerados expeditos, uma vez que não exigiram tecnologia avançada para serem realizados.

**Teste da queda da bola:** Neste teste, uma porção de solo seco foi selecionada e humedecida até obter uma pasta consistente. Em seguida, uma bola com aproximadamente 3 cm de diâmetro foi formada. A bola foi deixada cair em queda livre de uma altura de aproximadamente um metro sobre uma superfície plana. Se a bola se espalhasse com esfarelamento ou desagregação, o solo era classificado como arenoso. Caso a bola se espalhasse menos e com maior coesão, o solo era considerado argiloso.

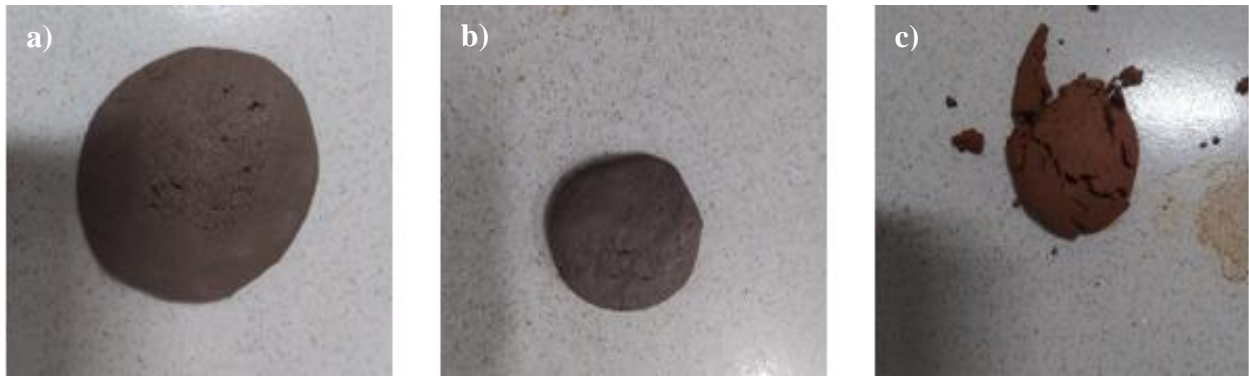


Figura 4-5: Teste da queda da bola. a) Amostra 1. b) Amostra 2. c) Amostra 3.

**Teste de brilho:** O ensaio realizado consistiu em preparar uma pequena quantidade de solo fino e amassá-lo com água até formar uma bola compacta do tamanho da mão. Em seguida, a bola foi cortada ao meio e as superfícies foram observadas. Se as superfícies apresentassem brilho intenso ou fossem muito brilhantes, indicava a presença de solo argiloso. Superfícies com pouco brilho eram características de um solo arenoso. Se as superfícies fossem opacas, indicava um solo siltoso.



Figura 4-6: Teste de brilho. a) Amostra 1. b) Amostra 2. c) Amostra 3.

**Teste de retração:** Este ensaio teve como objetivo avaliar qualitativamente o fenómeno de retração dos solos extraídos nas proximidades das habitações locais. Para isso, foram modelados três provetes para cada tipo de solo, usando um pedaço de tubo de PVC com 1 cm de altura e 5 cm de diâmetro interno. O solo foi humedecido e preencheu-se os anéis, alisando-se a superfície. Os provetes foram deixados secar durante um período de 48 horas, no fim do qual a retração foi medida.



Figura 4-7: Teste de retração.

**Teste de sedimentação ou teste de garrafa:** Neste ensaio, uma porção de solo seco e destorroado foi colocada em um recipiente cilíndrico de vidro, liso e transparente, preenchendo cerca de 1/3 de sua altura. Água destilada foi adicionada até atingir 2/3 da altura do recipiente. O recipiente foi tapado e a mistura foi agitada vigorosamente para dispersar o solo na água. Após 1 hora de repouso, houve uma nova agitação e o recipiente foi colocado em repouso sobre uma superfície plana. Cada componente do solo depositou-se em tempos diferentes, formando camadas distintas e visíveis. Pedregulhos e areia sedimentaram primeiro, por serem as partículas mais pesadas, seguidos pelo silte e, por último, pela argila. Se o solo continha matéria orgânica, ela ficava na superfície da água. Após a água ficar límpida, a espessura das diferentes camadas foi medida.

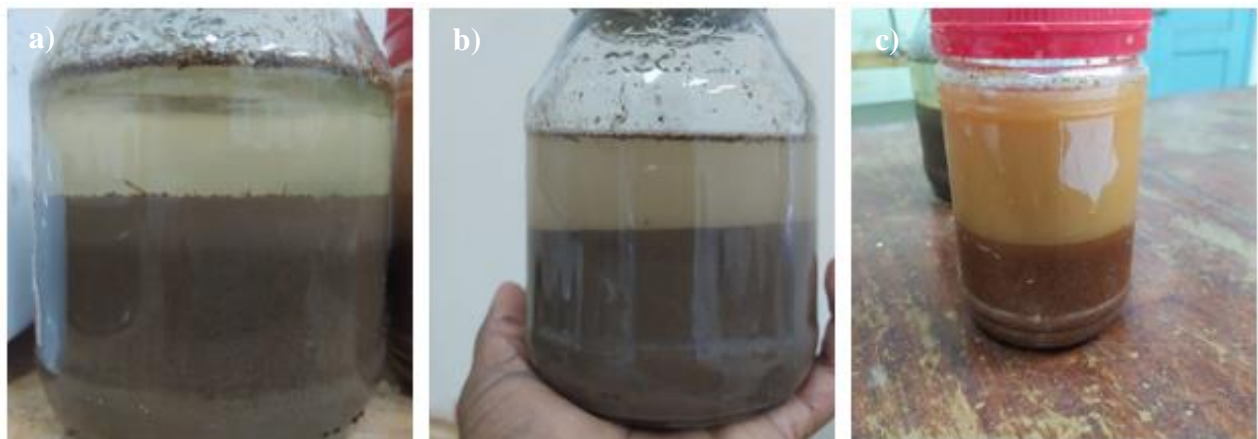


Figura 4-8: Teste de sedimentação de garrafa. a) Amostra 1. b) Amostra 2. c) Amostra 3.

Os ensaios referidos anteriormente foram conduzidos durante a fase de trabalho de campo e depois desta, com o intuito de obter informações preliminares sobre as propriedades qualitativas do solo tais como, textura, coesão e retração. Os dados obtidos a partir dos ensaios, auxiliaram na caracterização geotécnica dos solos e forneceram informação para a compreensão de suas características e potencialidades como material de construção sustentável nas comunidades rurais do Distrito de Moamba.

## 4.3. Análises de Laboratório

As amostras de solo colhidas na fase de trabalho de campo, foram submetidas a análises laboratoriais com o objetivo de determinar suas propriedades geotécnicas e avaliar sua aplicabilidade como material de construção sustentável e resiliente. Foram realizados os seguintes ensaios laboratoriais:

- Análise granulométrica
- Densidade das partículas
- Limites de consistência
- Ensaio de compactação Proctor
- Ensaio de expansibilidade

### 4.3.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica é um método utilizado para determinar a distribuição das partículas do solo por tamanho. Esse ensaio foi realizado de duas formas, por meio da peneiração seca e por meio da sedimentação, seguindo as diretrizes estabelecidas pela especificação LNEC E 196-1966. Através desses métodos, foi possível obter informações precisas sobre a proporção de areia, silte e argila presentes nas amostras de solo.

#### 4.3.1.1. Peneiração seca

O ensaio de peneiração seca foi realizado seguindo os procedimentos estabelecidos pela especificação LNEC E 196-1966. Após a colheita das amostras de solo no campo, elas passaram por uma primeira etapa de destorroamento, após a qual foram secas ao ar livre por 24 horas. Em seguida, os solos, novamente destorroados, foram esquartejados para garantir amostras representativas e adequadas para o ensaio. Uma porção das três amostras foi selecionada e colocada em estufa a uma temperatura de 110 °C por 24 horas para garantir a secagem total da água livre contida nos solos. Após essa etapa, foi feita a pesagem precisa de 100 g (p1) de cada uma das amostras, utilizando uma balança calibrada. Essas amostras foram imersas em água por 24 horas.

A seguir ao período de imersão, as amostras foram lavadas completamente no peneiro n.º 200, garantindo-se que não houvesse perda de solo durante a lavagem. Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem final em estufa a 110 °C por 24 horas. Após a secagem, as amostras foram pesadas novamente (p2) para determinar o teor em água. Com as amostras devidamente lavadas e secas, deu-se início ao processo de peneiração. Utilizou-se uma série de peneiros ASTM (*American Society for Testing and Materials*) de malha quadrada, conforme especificado na Tabela 4-1.

**Tabela 4-1:** Peneiros utilizados na análise granulométrica e respetivas aberturas de malha.

N.º do peneiro ASTM	4	6	10	16	30	40	50	70	100	200
Abertura (mm)	4,75	3,35	2,00	1,18	0,600	0,425	0,300	0,212	0,150	0,075

Os peneiros foram dispostos por ordem decrescente de aberturas, iniciando do peneiro nº 4 no topo e prosseguindo até o peneiro nº 200 na base. Cada porção pesada previamente das três amostras de solo foi colocada na série de peneiros de forma ordenada, e uma agitação cuidadosa foi realizada para separar as partículas de acordo com o seu tamanho. Após a agitação, foi realizada a pesagem do material retido em cada peneiro (p3), a fim de determinar a percentagem retida e a percentagem total que passa por cada peneiro.

O procedimento completo adotado para a análise granulométrica por peneiração seca encontra-se ilustrado na Figura 4-9.

No final da realização dos ensaios de análise granulométrica, os resultados foram apresentados em um gráfico de escala semi-logarítmica. Na escala logarítmica do eixo x, foram representados os diâmetros equivalentes das partículas, juntamente com a abertura dos respetivos peneiros. No eixo y, em escala decimal, foram representadas as percentagens acumuladas de material que passa por cada peneiro, em relação à massa total da amostra. A união desses pontos, por meio de segmentos retos, formou uma curva granulométrica.

Essa representação gráfica permite visualizar a distribuição das partículas do solo ao longo dos diferentes tamanhos, fornecendo informações valiosas sobre a granulometria da amostra e sua composição relativa de areia, silte e argila.



**Figura 4-9:** Processo de análise granulométrica por peneiração seca: a) Preparação da amostra para o ensaio. b) Primeira secagem das amostras na estufa a uma temperatura de 110 °C durante 24 horas. c) Imersão das amostras na água durante 24 horas. c) Pesagem das amostras após a lavagem e secagem na estufa. d) Série de peneiros utilizados para a peneiração das amostras de solo. f) Processo de separação do material retido nos peneiros para posterior pesagem.

#### 4.3.1.2. Sedimentação

O ensaio de sedimentação iniciou-se com o destorroamento de uma porção de cada uma das três amostras de solo, uma vez que ainda subsistiam torrões após a fase de preparação prévia das amostras, conforme descrito na seção 4.3.1.1. Em seguida, as amostras foram colocadas no peneiro nº 10 para crivagem, trabalhando-se posteriormente com o material que passou por esse peneiro.

Pesaram-se aproximadamente 60 g da amostra (p1) do material passado no peneiro nº 10, que colocados na estufa 110 °C durante 24 horas. Depois de retiradas da estufa, estas amostras foram colocadas num copo de pirex, que já continha uma solução de hexametáfosfato de sódio, em quantidade não especificada, sendo de seguida a mistura homogeneizada, após o qual foi colocada em estufa por 30 minutos. Depois de retirada da estufa, a mistura foi removida do copo de pirex e colocada num agitador elétrico por 15 minutos. Em seguida, utilizou-se o peneiro nº 200 para lavar a amostra com água destilada. A água que passou pelo peneiro foi coletada numa proveta de 1000 ml, que foi tapada e agitada.

Uma vez estabilizada a solução, foram realizadas leituras da densidade (com auxílio de um densímetro) e da temperatura da mistura, em intervalos de tempo estabelecidos pela especificação

LNEC E 196 -1966. A velocidade de queda das partículas foi determinada de forma indireta por meio da densidade da suspensão. O procedimento conduzido para realizar a análise por sedimentação, ilustrado na Figura 4-10, permitiu obter informações sobre a distribuição granulométrica das partículas finas presentes nas amostras de solo. Assim, através da determinação da velocidade de queda das partículas, é possível obter dados relevantes para compreender a composição textural e o comportamento das frações mais finas do solo.



**Figura 4-10:** Processo de análise granulométrica por sedimentação: a) Preparação das amostras. b) Crivagem da amostra no peneiro n.º 10. c) Pesagem da amostra que passou do peneiro n.º 10. d) Homogeneização das amostras nos copos de pirex com a solução de hexametáfosfato de sódio. e) Coleta da água que passou do peneiro n.º 200 para a proveta de 1000 ml. f) Densímetro utilizado para o processo da leitura das densidades em intervalos de tempo diferentes.

### 4.3.2. Densidade das partículas

O ensaio para determinar a densidade das partículas sólidas presentes no solo permite calcular a porosidade do solo e compreender sua capacidade de drenagem e armazenamento de água.

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NP 83-1965. Inicialmente, foram preparadas três amostras, sendo que cada uma delas foi colocada para secar em uma estufa a uma temperatura de 110 °C durante 24 horas. Após a secagem, as amostras de solo foram completamente destorroadas para desfazer os torrões e passadas pelo peneiro n.º 10. Do material que passou neste peneiro, foram pesados 25 g de cada amostra para o ensaio.

Para cada uma das amostras foram preparados dois picnómetros, que foram previamente pesados e onde se colocou água destilada até perfazer os 100 ml. Depois de obter o peso dos picnómetros com a água destilada, uma parte da água foi removida e os 25 g anteriormente pesados foram adicionados a cada picnómetro. O provete foi agitado adequadamente e colocado em ebulição numa placa de aquecimento por 15 minutos. Em seguida, o provete de solo foi deixado em repouso por 24 horas, no final do qual foi novamente adicionada água destilada aos picnómetros até à altura inicial de 100 ml. Depois de limpar cuidadosamente o exterior dos picnómetros contendo o provete e a água destilada, procedeu-se à pesagem, seguida da determinação da temperatura, de cada um deles.

No final do processo, a solução dos picnómetros foi cuidadosamente removida para as cápsulas de pirex que foram previamente pesadas. Essas cápsulas foram colocadas em estufa para secar a uma temperatura de 110 °C durante 24 horas, tendo-se tirado no final o peso das cápsulas com o solo depois de arrefecidas na estufa. Este procedimento permitiu a determinação da densidade das partículas sólidas presentes no solo, que é fundamental para compreender suas propriedades físicas e o seu comportamento hidrológico.



**Figura 4-11:** Realização do ensaio para determinação da densidade das partículas dos solos: a) Pesagem do picnómetro e adição da água destilada. b) Solo em repouso depois da ebulição por 15 minutos. c) Provetes de solo depois de seco na estufa.

### 4.3.3. Limites de consistência

Os procedimentos adotados nos ensaios para determinação dos limites de consistência, nomeadamente, o limite de liquidez e o limite de plasticidade do solo, são apresentados neste item. Estes parâmetros são importantes para avaliar a plasticidade dos solos, assim como a influência do teor em água nos mesmos, o que condiciona necessariamente as suas características de resistência e deformabilidade, bem como o seu comportamento na compactação. A determinação destes limites de consistência foi feita de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma NP-143 1969.



#### 4.3.3.1. Limite de liquidez

Conforme estabelecido na norma NP-143 de 1969, a determinação do limite de liquidez é aplicável apenas a solos que contenham aproximadamente 30% ou mais, em massa, de partículas com dimensões inferiores a 0,05 mm. Portanto, solos predominantemente arenosos estão excluídos dessa análise, pois, mesmo que seja possível realizar o ensaio, ele perde o seu significado nessas circunstâncias.

O ensaio para determinação do limite de liquidez foi realizado seguindo os procedimentos estabelecidos na norma NP-143 de 1969, no LEM. No início, tomou-se uma porção de cada uma das três amostras de solo que foi seca ao ar previamente e destorroada. O material assim obtido foi submetido a crivagem pelo peneiro nº 40, rejeitando a fração retida e tomando cerca de 150 g do solo que passou para cada amostra selecionada.

Em seguida, uma porção de cada amostra foi colocada numa placa de vidro, onde foi adicionada água destilada de forma gradual. Utilizando uma espátula, as amostras foram misturadas até obter uma pasta homogênea, com consistência adequada, não muito líquida nem muito seca.

A massa da pasta resultante foi colocada na concha de Casagrande. Foram aplicadas pancadas na concha, variando entre 10 e 40, seguindo os critérios de ensaio específicos. No total, foram realizados 3 ensaios, de acordo com as indicações do LEM.

Após as pancadas na concha de Casagrande, que fizeram unir os bordos do sulco, formado por um riscador apropriado, ao longo de cerca de 1 cm, foi retirada uma porção de aproximadamente 10 g do solo dessa zona e colocada numa cápsula e pesou-se o conjunto logo de seguida, registando o seu valor. Essa cápsula foi posteriormente submetida à estufa por 24 horas, a uma temperatura de 110 °C, para a completa secagem do solo. Isso possibilitou a determinação do teor em água do solo, cujo valor foi utilizado para o traçado do gráfico.



Figura 4-12: Realização do ensaio para determinação do limite de liquidez nos solos amostrados.

#### 4.3.3.2. Limite de plasticidade

De acordo com a norma NP-143 de 1969, a determinação do limite de plasticidade é aplicável apenas a solos que contenham aproximadamente 30% ou mais, em massa, de partículas com dimensões inferiores a 0,05 mm. Portanto, solos predominantemente arenosos estão excluídos

dessa análise, pois, mesmo que seja possível realizar o ensaio, ele perde seu significado nessas circunstâncias.

O ensaio para determinação do limite de plasticidade realizou-se a seguir ao ensaio para determinação do limite de liquidez, a partir da amostra previamente preparada para ambos. Uma porção de cada amostra foi tomada e procedeu-se ao rolamento da mistura obtida entre a palma da mão e a placa de vidro, aplicando pressão suficiente para transformá-la num filamento cilíndrico. Quando o diâmetro do filamento atingiu cerca de 3 mm, a mistura foi novamente moldada numa esfera e rolada novamente. Essas operações foram repetidas até que, devido à progressiva secagem do provete, ocorreu a rotura do filamento quando o seu diâmetro atingiu cerca de 3 mm.

Após a determinação dos valores dos limites de plasticidade e de liquidez, tornou-se possível calcular o índice de plasticidade (IP) dos solos investigados. Esse índice resulta da diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP), conforme expresso pela seguinte relação:

$$IP = LL - LP$$

O IP é geralmente utilizado como um parâmetro importante para a classificação de solos finos segundo ilustra a Tabela 4-2 apresentado por Folque (1991), citado por Wachilala (2018). O IP representa a capacidade de absorção de água do solo e a sua consistência.

**Tabela 4-2:** Classificação dos solos segundo o índice de plasticidade.

Índice de plasticidade (%)	Classificação
IP = 0	Solo não plástico (NP)
1 < IP < 7	Solo de plasticidade baixa
7 < IP < 15	Solo de plasticidade média
IP > 15	Solo de plasticidade alta

#### 4.3.4. Ensaio de compactação Proctor

Este ensaio permite determinar a curva de compactação do solo, que relaciona a humidade (teor em água) com a densidade seca (peso volúmico seco) do solo compactado. Através desse ensaio, é possível avaliar a capacidade do solo em adquirir uma densidade adequada quando compactado, o que é importante para a estabilidade das construções.

O ensaio foi realizado seguindo a norma E 197-1966, utilizando um molde grande com volume de 2320 m<sup>3</sup>, peso de 4720 e um pilão pesado de 4.54 kg. O ensaio começou com a preparação de duas amostras de solo, as amostras 1 e 3, que foram expostas ao ar livre por 24 horas para secarem à temperatura ambiente e posteriormente foram destorroadas. As amostras foram divididas em partes menores para garantir sua representatividade, e uma porção de 6 kg de cada amostra de solo foi separada.

Os 6 kg de cada solo foram colocados num tabuleiro e o ensaio foi iniciado com 4% de água. Em média, foram realizados 6 pontos de compactação, onde a cada ponto adicionava-se mais 2% de água até atingir a saturação da amostra. A compactação foi feita manualmente, com o mesmo ritmo de energia na queda do pilão para garantir a confiabilidade dos resultados. A cada ponto, foram realizadas 55 pancadas com o pilão, divididas em cinco camadas de solo, totalizando 275 pancadas com o pilão.

Foram registrados o peso e o volume do solo compactado, e num gráfico foram plotados os valores do peso volúmico seco no eixo das ordenadas e o teor em água do solo no eixo das abcissas. A partir desse gráfico, é possível determinar o teor de água ótimo, que corresponde ao peso volúmico seco máximo.



**Figura 4-13:** Ensaio de compactação do tipo proctor a) Pesagem do solo. b) Processo de compactação com o pilão pesado. d) Provete do solo retirado do molde.

### 4.3.5. Ensaio de expansibilidade

O ensaio de expansibilidade dos solos foi conduzido conforme as instruções especificadas em E 200-1967 (LNEC, 1967). O objetivo do ensaio era determinar a variação percentual de volume de uma fração de solo quando submetida à absorção de água por capilaridade. Cerca de 100 g de solo passado no peneiro nº 40 (0,425 mm) foi homogeneizado e compactado, num molde de 15 mm de altura e 60 mm diâmetro interior, em duas camadas, excedendo ligeiramente o bordo do molde.

Após a compactação, retirou-se a alonga, o excesso de solo foi removido com uma espátula para obter uma superfície plana e nivelada. Em seguida, colocou-se de novo a alonga, um defletómetro foi montado para medir os deslocamentos verticais da tampa de perspex que cobria o solo compactado e nivelado.

Água destilada foi adicionada até atingir o nível da base do aparelho, e o cronómetro foi iniciado. Leituras periódicas do defletómetro foram realizadas até que duas leituras com intervalo de 2 horas apresentassem o mesmo valor ou valores decrescentes (Figura 4-14 b).

O ensaio forneceu informações valiosas sobre o comportamento do solo durante a absorção de água por capilaridade, permitindo calcular a variação percentual de volume, ou seja, o valor da sua

expansibilidade final, bem como a evolução da mesma ao longo do tempo. Esses resultados são importantes para a caracterização do solo e têm aplicação em estudos geotécnicos e projetos de engenharia civil.



**Figura 4-14:** Ensaio de expansibilidade: a) Preparação da amostra para compactação; b) Leituras da expansibilidade com defletómetro.

#### 4.4. Produção de Adobe

O processo de produção de adobes descrito neste trabalho foi conduzido a partir de um estudo experimental, uma vez que não foram identificadas habitações construídas com base no adobe durante a realização do estudo de campo na região selecionada para o estudo. O uso de adobe não faz parte da tradição local, possivelmente influenciado pelo tipo de solo predominante na região.

Para conduzir o processo de produção de adobes, a norma ABNT NBR 16814:2020 foi considerada como referência. As etapas do processo são as seguintes:

1. Amostragem e Preparação do Solo: O solo das amostras 1 e 3 foi coletado e posteriormente colocado ao ar livre para secagem e destorroamento, a fim de obter uma mistura homogênea. Em seguida, o solo foi peneirado no peneiro nº 10 para eliminar materiais indesejáveis e obter partículas de tamanho adequado para a produção de adobes.
2. Adição de Materiais Auxiliares: Além do solo, foram utilizados diferentes aditivos tais como, cinza, capim e esterco, e foram produzidos adobes a partir da mistura entre os dois solos. Esses aditivos têm como objetivo melhorar as propriedades do adobe, como a resistência, a coesão e a durabilidade.
3. Mistura: A água foi adicionada gradualmente a 6 kg de solo simples e ao solo misturado com aditivos. O material foi primeiramente misturado com água, manualmente, até atingir

uma consistência homogênea e moldável. A adição de água foi realizada considerando o valor do teor em água ótimo obtido durante o ensaio de compactação, garantindo que a mistura não ficasse muito húmida nem muito seca, o que poderia resultar em blocos frágeis, ou muito secos, o que dificultaria a moldagem.

4. Moldagem dos Blocos: A mistura foi então moldada numa forma de paralelepípedo retangular de madeira com as seguintes dimensões: 29 cm de comprimento, 10 cm de largura e 10 cm de altura (Figura 4-15 b).
5. Secagem: Os blocos de solo moldados (adobes) foram colocados em uma superfície plana e deixados para secar ao sol protegidos da humidade por 24 dias (Figura 4-15 d). Durante o processo de secagem, a água evaporou gradualmente, permitindo que os blocos endurecessem e ganhassem resistência. Os blocos foram virados periodicamente para garantir uma secagem uniforme.



**Figura 4-15:** Processo de produção de adobes: a) Preparação do solo; b) Molde de madeira e material de reforço utilizado; c) Mistura do material; d) Adobes expostos ao sol para secar.

O processo experimental implementado permitiu estudar as características e o comportamento dos adobes produzidos com diferentes solos e aditivos. Os adobes produzidos foram posteriormente submetidos a testes de resistência para avaliar sua adequação como material de construção.

O teste de resistência foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 16814:2020, e consistiu no seguinte: Primeiramente, procedeu-se à preparação dos corpos de prova. Esses corpos de prova foram devidamente identificados e pesados antes de serem levados à prensa hidráulica de compressão. O corpo de prova foi colocado entre as placas de compressão da máquina (Figura 4-16), onde uma força foi aplicada gradualmente na direção axial do corpo de prova até que ocorresse a rotura. Durante o ensaio, registou-se a força aplicada e a deformação resultante.



**Figura 4-16:** Realização do ensaio de resistência dos adobes: a) Preparação dos adobes para pesagem; b) Colocação do adobe na Prensa de Compressão Universal; c) Compressão uniaxial sobre o adobe; d) Rotura do adobe.

Após a realização do ensaio, analisaram-se os dados obtidos para determinar a resistência do adobe. A resistência foi expressa em termos de força máxima suportada pelo corpo de prova antes da rotura, geralmente medida em unidades de pressão, como MPa (MegaPascal).

Os resultados do ensaio de resistência do adobe foram comparados com os valores mínimos estabelecidos pelas normas técnicas relevantes vigentes na época. Essas normas podem variar de acordo com o país e as regulamentações locais. A resistência do adobe é um indicativo importante da sua capacidade de suportar as cargas aplicadas e sua durabilidade em condições reais de uso.

#### **4.5. Análise, Interpretação e Compilação do Relatório Final**

Nesta etapa do estudo, foram realizadas todas as análises e interpretações necessárias dos resultados obtidos durante o trabalho de campo e laboratório (Anexos 3 e 4). Para isso, foram utilizadas diversas ferramentas e métodos adequados à natureza dos dados obtidos e aos objetivos do estudo.

No trabalho de campo, as observações e as entrevistas realizadas forneceram informações valiosas sobre as práticas construtivas locais, os eventos climáticos ocorridos e suas consequências. Esses dados foram interpretados e analisados com o intuito de compreender as técnicas de construção empregadas, identificar os desafios enfrentados pelas comunidades e obter *insights* sobre a resiliência das edificações diante de eventos climáticos extremos.

No laboratório, as amostras de solo colhidas foram submetidas a uma série de ensaios geotécnicos, como a análise granulométrica, os limites de consistência, o ensaio de compactação, o ensaio de expansibilidade, a determinação da densidade das partículas e o teste de durabilidade e erosão. Os resultados obtidos foram cuidadosamente analisados e interpretados para determinar as propriedades geotécnicas do solo e a sua adequação como material de construção sustentável e resiliente.

Durante a etapa anterior, foram aplicadas diversas ferramentas, como a aplicação do *Excel* para a análise e interpretação dos resultados dos ensaios laboratoriais e metodologias específicas para a avaliação da resiliência das construções. Essas ferramentas permitiram uma análise aprofundada e uma interpretação robusta dos dados, proporcionando uma compreensão mais completa da situação estudada.

Com base nas análises e interpretações realizadas, foi elaborado o relatório final, que constitui a dissertação que conclui o curso de Mestrado em Engenharia Geológica. A Dissertação contém todas as informações relevantes sobre o estudo, desde a caracterização das comunidades e das técnicas construtivas até à avaliação geotécnica das amostras de solo e a recomendação de técnicas construtivas sustentáveis e resilientes para a região estudada.

A elaboração do trabalho final envolveu a síntese de todas as informações compiladas, a apresentação dos resultados das análises e interpretações realizadas, bem como a discussão dos resultados em relação aos objetivos do estudo. Além disso, o trabalho final também contém

recomendações para ações futuras, visando o aprimoramento das práticas construtivas e a promoção da resiliência nas comunidades estudadas.

## 4.6. Limitações

A realização do presente estudo foi notavelmente influenciada por diversas limitações que impactaram diretamente na condução da pesquisa e na obtenção de resultados relevantes, como:

1. **Longas distâncias para o acesso à zona de estudo:** A inacessibilidade da zona de estudo devido a longas distâncias representou uma limitação substancial. Isso influenciou a coleta de dados de maneira adversa, uma vez que as extensas distâncias tornaram o deslocamento e a logística mais complexos e dispendiosos. Além disso, o tempo e os recursos necessários para chegar à zona de estudo desafiaram a eficiência da coleta de dados e a identificação das comunidades-alvo.
2. **Disposição espacial dispersa das habitações:** A disposição dispersa das habitações nas comunidades-alvo apresentou outra limitação significativa. Essa dispersão tornou a identificação e o acesso às habitações de pesquisa um processo mais demorado e complicado. Além disso, a dispersão espacial afetou a capacidade de realizar uma amostragem eficiente e representativa, uma vez que algumas habitações estavam localizadas em locais remotos ou de difícil acesso.
3. **Condições climáticas adversas:** As condições climáticas adversas também desempenharam um papel relevante nas limitações enfrentadas durante a coleta de solo. Variações climáticas imprevisíveis, como chuvas intensas, secas e temperaturas extremas, influenciaram negativamente a coleta de amostras de solo. Essas condições climáticas adversas não apenas dificultaram o acesso às áreas de coleta, mas também podem ter afetado a qualidade e a integridade das amostras coletadas.

Diante dessas limitações, foram necessários esforços adicionais para mitigar os desafios logísticos, como o planejamento cuidadoso das deslocações, a utilização de métodos de amostragem alternativos e a adaptação a condições climáticas variáveis. Essas limitações também ressaltam a importância de considerar fatores geográficos e climáticos ao planejar estudos em áreas remotas e dispersas, bem como a necessidade de ajustar estratégias de pesquisa para enfrentar desafios específicos de acesso e coleta de dados em ambientes adversos.



## **CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---

## 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios expeditos *in situ* e de laboratório realizados para investigar as potencialidades de solos existentes na Província de Maputo como material de construção sustentável. Além disso, para avaliar melhor o seu potencial, realizaram-se experiências de produção de adobes, utilizando diferentes tipos de solos encontrados na região, combinados com aditivos disponíveis nas comunidades locais. Em suma, os resultados obtidos e sua análise em conjunto com os dados compilados a partir da informação existente, revelaram a existência de perspectivas promissoras para a utilização dos solos como uma alternativa sustentável na construção. No entanto, é importante considerar algumas observações e considerações relevantes, conforme detalhado nas secções seguintes.

### 5.1. Ensaios Expeditos *In Situ*

Os ensaios expeditos *in situ*, também conhecidos como ensaios de campo, desempenham um papel crucial na avaliação do potencial do solo local como material de construção sustentável. Estes ensaios envolveram a colheita de amostras de solo de três locais da povoação de Goane 1 no Distrito de Moamba, da Província de Maputo. Essas amostras foram obtidas de forma representativa, abrangendo a diversidade de tipos de solo presentes na região.


Os testes *in situ* foram conduzidos de forma a fornecer uma avaliação inicial das características físicas dos solos. Entre esses testes, destacam-se as avaliações táteis e visuais para determinar o tipo de solo presente em cada localidade. Essas observações fornecem informações valiosas sobre a textura, estrutura e humidade do solo, aspectos cruciais para sua utilização na construção.

Adicionalmente, foram realizados testes complementares, como o teste da queda de bola, teste de retração e teste da garrafa, que oferecem informações mais detalhadas sobre as características físicas dos solos. O teste da queda de bola permite, ainda que de forma subjetiva, supor ou conjecturar sobre o que esperar relativamente aos parâmetros de compactação e resistência do solo. Já o teste de retração fornece dados sobre a variação de volume do solo com a mudança de humidade, enquanto o teste de garrafa é útil para estimar a granulometria do solo e a sua capacidade de drenagem.

Conforme citado por Minke (2006), a realização desses ensaios é um passo importante para determinar a adequação de um solo para uma aplicação específica, pois é necessário conhecer sua composição. No caso do estudo em questão, esses ensaios permitiram uma análise preliminar das características físicas dos solos colhidos, oferecendo uma visão inicial sobre o potencial do solo local como material de construção.

A Tabela 5-1 apresenta os resultados provenientes dos ensaios expeditos realizados para cada tipo de solo colhido na zona de estudo.

Tabela 5-1: Resultados dos ensaios in situ.

ID	Coordenadas Geográficas		Cor	Cheiro	Brilho	Tato	Queda da bola	Observações
	X	Y						
<b>Amostra 1</b>	32.24611	-25.4322	 Castanho escuro	Cheiro a húmus	Brilho nas superfícies	Asperozo e pegajoso entre os dedos	Não se espalha	Solo com muita matéria orgânica, areia fina e argila
<b>Amostra 2</b>	32.24391	-25.4332	 Castanho escuro	Cheiro a húmus	Brilho nas superfícies	Asperozo e pegajoso entre os dedos	Não se espalha	Solo com muita matéria orgânica, areia e argila
<b>Amostra 3</b>	32.24124	-25.4385	 Vermelho	Terroso	Superfície sem brilho intenso	Muito asperozo e pouco pegajoso entre os dedos	Espalha-se com pouca desagregação	Solo granular

Numa primeira análise, na região de Goane 1, verificou-se que existem dois tipos de solos distintos: solos arenosos avermelhados com certa quantidade de silte e solos arenoargilosos castanhos. De acordo com MAE (2005), esses tipos de solos são formados por processos geológicos e pedogénicos que ocorrem ao longo do tempo, influenciados por fatores climáticos, geológicos e biológicos.

Os solos arenosos avermelhados com silte são tipicamente resultado da decomposição de rochas ricas em minerais félsicos, tais como riolitos presentes na região segundo indica a geologia local. A comprovação da associação entre esses solos e a rocha mãe riolito é respaldada pela identificação de fragmentos de pedrinhos de composição riolítica distribuídos ao longo do perfil de alteração desses solos. A formação desses solos é influenciada pela alteração da rocha-mãe, que consiste em uma série de processos físicos e químicos que gradualmente degradam as rochas, transformando-as em fragmentos e partículas menores. Nesse contexto, a cor avermelhada dos solos sugere a presença de óxidos de ferro, comumente encontrados em solos bem drenados, especialmente em regiões com clima tropical ou subtropical. O teor de silte nesses solos geralmente é resultado da deposição de partículas finas ao longo do tempo, transportadas por vento ou água.

Por outro lado, os solos arenoargilosos castanhos são um tipo de solo com uma composição intermédia entre solos predominantemente arenosos e solos argilosos. Estes solos são formados principalmente a partir da decomposição de rochas ígneas e sedimentares, ricas em minerais argilosos, como a caulinite, a montmorilonite e a illite. Estes minerais são provenientes da desintegração e alteração das rochas de origem. Na zona de estudo, estes solos podem resultar da decomposição de basaltos que compõem o soco cristalino local. Durante a meteorização das rochas, parte delas decompõe-se em fragmentos e partículas menores, principalmente grãos de areia. Essas partículas são geralmente compostas por minerais de quartzo, feldspatos e micas, com diâmetros maiores que 0,05 mm. Ao mesmo tempo, a alteração química atua na decomposição dos minerais argilosos presentes nas rochas de origem. Esses minerais são decompostos em partículas extremamente pequenas, com diâmetros menores que 0,002 mm, formando a fração argilosa do solo (Santiago, 2005). A cor castanha presente nestes solos pode ser associada à presença de matéria orgânica em diferentes graus de decomposição, que adiciona cor e nutrientes ao solo.

A matéria orgânica é um fator muito importante no comportamento físico do solo, uma vez que influencia a sua compactação, densidade e compressibilidade (Juarte, 2002). Altos teores de matéria orgânica podem afetar negativamente a densidade, compactação e compressibilidade do solo. Isso pode ser problemático quando se pretende utilizar estes solos para a construção em terra, pois solos com alta quantidade de matéria orgânica podem ser menos estáveis e mais suscetíveis a assentamentos diferenciais. Quando ocorrem assentamentos, podem surgir problemas estruturais, rachaduras e danos nas construções. A presença de matéria orgânica no solo, principalmente se houver humidade associada, pode criar um ambiente propício para a acumulação de seres vivos, como vermes e térmitas, ao longo do tempo. Esses organismos podem representar uma preocupação para a construção em terra, uma vez que podem contribuir para a degradação e corrosão dos materiais utilizados nas estruturas.

Os resultados dos ensaios de sedimentação com garrafa, apresentados na Tabela 5-2, revelam diferenças significativas nas proporções de areia, argila, silte e matéria orgânica presentes nas

amostras de solo analisadas. Assim, conforme os dados obtidos, as amostras 1 e 2 não demonstraram diferenças substanciais entre si, exibindo uma percentagem de argila de 25 e 28 %, respetivamente, e percentagem de areia de 54 e 56 %, respetivamente. Por outro lado, a amostra 3 se destaca pelas maiores percentagens de areia, totalizando aproximadamente 82.61%, seguida por cerca de 10.87% de silte e 6.52% de argila. É evidente que essa amostra possui uma composição granulométrica distinta em relação às amostras 1 e 2, o que pode influenciar significativamente as suas características físicas e comportamento mecânico.

Quando avaliadas do ponto de vista da construção em terra, essas diferenças na composição granulométrica e no conteúdo de argila podem ter implicações importantes para a utilização desses solos em obras e edificações.

No caso das amostras 1 e 2, a elevada proporção de argila sugere uma maior capacidade de retenção de água, o que pode afetar a estabilidade do solo durante períodos chuvosos e influenciar a compactação durante a construção. A presença significativa de argila indica uma maior plasticidade, o que pode tornar esses solos mais suscetíveis a deformações e assentamentos diferenciais em estruturas construídas sobre eles. Adicionalmente, solos com alto teor de argila tendem a ser menos resistentes, e, portanto, podem requerer técnicas especiais de reforço ou tratamento para suportar cargas de construções mais pesadas.

Por sua vez, a alta proporção de areia na amostra 3 indica uma maior permeabilidade, o que é benéfico para a drenagem do solo. Esse tipo de solo é adequado para locais onde a drenagem é essencial para evitar problemas de humidade e encharcamento. No entanto, a baixa quantidade de argila pode levar a uma menor coesão, o que faz com que seja difícil o uso destes solos para a produção de adobes. A composição textural destes solos justifica o facto da comunidade de Goane 1, na zona de estudo não produza adobe localmente e não tenha habitações feitas de adobe. Conforme as informações fornecidas pelo Líder Comunitário local durante a visita de campo, que detém a posição de autoridade máxima na comunidade, observa-se que a técnica construtiva predominante amplamente empregada pela comunidade local é o pau-a-pique. A escolha pela técnica de "pau-a-pique" está profundamente enraizada nas tradições culturais da comunidade, refletindo os métodos de construção transmitidos ao longo das gerações. Além disso, a ocorrência de solos com menor coesão como o da amostra 3, torna o pau-a-pique uma opção construtiva eficaz e acessível, o que reforça a sua preferência e ampla utilização entre os habitantes locais.

**Tabela 5-2:** Resultados do ensaio de sedimentação com garrafa.

Partículas (%)	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Argila	27.69	25.43	6.52
Silte	18.46	18.13	10.87
Areia	53.85	56.44	82.61

Os solos arenoargilosos, por conterem uma proporção significativa de argila em sua composição, tendem a apresentar maior taxa de retração (em média 1.7%) em comparação com os solos arenosos avermelhados (0.8%), segundo ilustra a Tabela 5-3. Essa maior taxa de retração é

principalmente devido às características físicas e químicas da argila. As partículas possuem uma alta capacidade de retenção de água, o que faz com que os solos com argila na sua composição absorvam mais humidade quando em contacto com água. Por outro lado, quando o solo seca, a argila tem uma tendência maior a perder essa água retida, resultando em uma maior taxa de retração.

Essa retração ocorre porque, à medida que a água é retirada das partículas de argila durante a secagem do solo, elas se contraem, causando uma redução do volume do solo. Essa diminuição do volume pode levar à formação de rachaduras e fissuras no solo, especialmente durante períodos de estiagem prolongada.

Os solos arenosos avermelhados, por sua vez, têm menos capacidade de retenção de água devido à predominância de partículas maiores e soltas. Portanto, eles geralmente não apresentam uma taxa de retração tão significativa quanto os solos argilosos.

**Tabela 5-3:** Resultados do ensaio de retração.

ID	Retração (mm)	Retração (%)
Amostra 1	0.9	1.8
Amostra 2	0.7	1.4
Amostra 3	0.4	0.8

Em Goane 1, algumas habitações construídas com o solo das amostras 1 e 2 apresentaram cenários de rachaduras nas paredes, onde o solo é utilizado como material de reboco. No entanto, essas rachaduras são pouco profundas e não influenciam na estabilidade das construções, pois o grau de retração desses solos está dentro do padrão estabelecido pelas normas Neozelandesas NZS 4298 (1998) e 4297 (1998), conforme citado por Wachilala (2018). Essas normas recomendam que para a construção em terra, os valores de retração não devem ser superiores a 3% para solos não estabilizados. Felizmente, as amostras de solo analisadas em Goane 1 possuem valores de retração abaixo desse limite, o que é um bom indicador da estabilidade das construções.

Embora as amostras 1 e 2 tenham uma composição textural semelhante, elas apresentam diferentes graus de retração. Esse fato pode ser influenciado pela percentagem da fração argila presente em cada amostra, para além do tipo de mineral argiloso predominante em cada solo, pois como é sabido há minerais argilosos mais expansivos uns em relação aos outros. Como mencionado anteriormente, solos com maior proporção de argila têm maior capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, podem apresentar uma taxa de retração mais significativa durante períodos de seca. Portanto, é importante considerar a distribuição e quantidade de argila em cada amostra para entender as variações nos graus de retração observados. O ideal seria fazer a identificação dos minerais de argila presentes nas amostras de solo, para fazer uma interpretação mais assertiva da taxa de retração dos solos.

Os valores de retração abaixo de 3% indicam que, dentro das condições estabelecidas pelas normas Neozelandesas, esses solos são adequados para a construção em terra. No entanto, ainda é

importante monitorizar de perto o comportamento do solo ao longo do tempo, especialmente em áreas onde há maior concentração de argila, para garantir a estabilidade das construções a longo prazo. Adotar práticas de manejo adequadas e realizar estudos geotécnicos detalhados pode ajudar a prevenir problemas futuros relacionados com a retração do solo e garantir a segurança das estruturas construídas na região.

## 5.2. Ensaios de Laboratório

Os ensaios de laboratório realizados visaram uma investigação minuciosa das propriedades mecânicas e físicas dos solos em análise. Estas análises abrangeram a determinação da distribuição granulométrica, da densidade das partículas do solo, dos limites de consistência, do comportamento sob compactação segundo o método Proctor e, por fim, a avaliação da expansibilidade do material.

A análise granulométrica foi conduzida por meio dos métodos de peneiração seca e sedimentação, devido à presença considerável de partículas finas no solo estudado. O processo de caracterização das propriedades físicas dos solos iniciou-se com a análise granulométrica, que permitiu categorizar os solos em termos de classificação geotécnica. Para tal, foi empregado o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), concebido pelo engenheiro Arthur Casagrande originalmente para aplicações aeroportuárias, mas que ganhou ampla adoção, notadamente em projetos geotécnicos como barragens de terra.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5-4, observou-se que, nestes solos, a percentagem de material com diâmetro inferior a 2 mm variou entre 94.34% e 99.61%, enquanto o material fino abaixo de 0.075 mm variou entre 18.61% e 47.89%, correspondendo esta última percentagem a partículas de silte e/ou argila. Cabe destacar que a quantidade de partículas acima de 2.00 mm variou de 0.06% e 5.56%. É importante mencionar que os solos exibiram um índice de plasticidade entre 11 e 8 na amostra 1 e 2, respetivamente, sendo o solo da amostra 3 não plástico (NP).

Cerca de 99.61% das partículas presentes nas amostras de solo da amostra 1 exibiram um diâmetro inferior de 2 mm. Adicionalmente, aproximadamente 47.89% das partículas do solo desta amostra foram identificadas como finas, com um valor para o índice de plasticidade de  $IP=11$ . Seguindo os critérios de classificação do SUCS, esses solos foram categorizados como sendo areias argilosas e misturas de areia e argila, com características mal graduadas (SC). Essa classificação foi igualmente corroborada pelo ensaio de sedimentação de garrafa, que foi realizado como uma abordagem *in situ*.

O ensaio de sedimentação realizado para amostra 1, revelou que cerca de 27.43% das partículas possuíam diâmetro esférico equivalente inferior a 0.002 mm, correspondente à fração argila, na qual se concentram os minerais de argila que a amostra possa conter. Quanto à composição granulométrica, constatou-se a presença de 59.42% de areia e 13.15% de silte na amostra 1 (Figuras 5-1 e 5-2). Em consonância com estudos precedentes (Doat et al., 1985, citado por Inácio, 2016), os solos apropriados para construções em terra devem exibir proporções de areia, silte e argila situadas entre 55% a 75%, 15% a 18% e 10% a 28%, respetivamente, para a produção de

adobes. Para técnicas como taipa e/ou pau-a-pique, as proporções ótimas são de 40% a 50% de areia, 20% a 35% de silte e 15% a 25% de argila.

Consoante essa teoria, os solos em análise demonstram ser adequados para aplicações construtivas nas comunidades de Goane 1. A viabilidade é ressaltada pela aplicação vigente desses solos na edificação de habitações do tipo pau-a-pique. Contudo, é de suma importância exercer um controle rigoroso sobre a quantidade de água utilizada no processo, levando em consideração o nível de humidade ótimo adequado para esses solos. Isso se justifica pelo fato de que volumes excessivos de água podem impactar negativamente na resistência dos materiais, comprometendo a durabilidade e o desempenho estrutural das construções.

Particularmente relevante é o fato de que o solo da amostra 1 exibe uma taxa de expansibilidade em torno de 8.5%. Portanto, esse aspecto resalta ainda mais a necessidade de se manter uma gestão criteriosa da humidade durante o processo construtivo. Dado que a percentagem de finos (correspondentes à fração argila), presentes nesses solos desempenha um papel crítico nas propriedades físicas dos mesmos, é imperativo manter um equilíbrio preciso entre a humidade e a composição textural das partículas, a fim de garantir a preservação da integridade e da estabilidade das construções a longo prazo. Portanto, ao empregar os solos da amostra 1 e considerando a sua classificação e características, juntamente com as técnicas construtivas tradicionais utilizadas na região, é possível otimizar a eficiência e a qualidade das edificações em consonância com as condições locais.

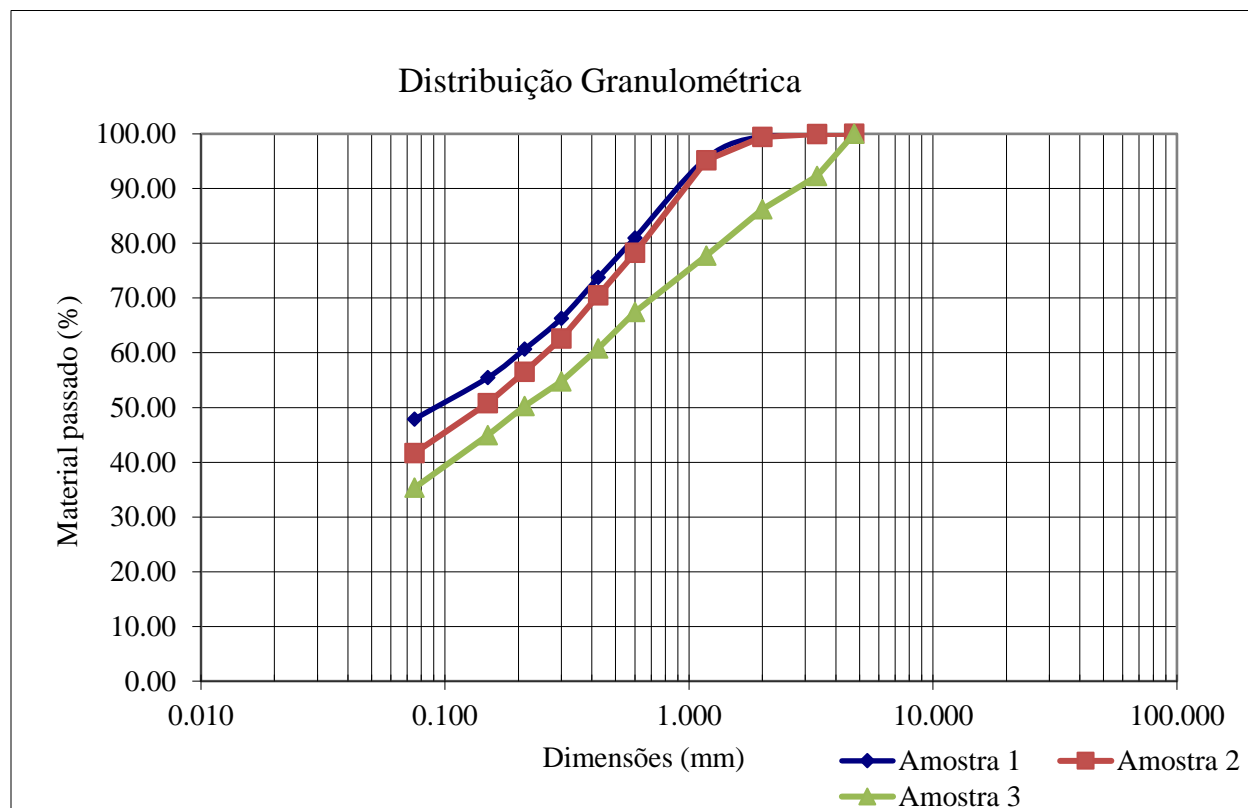


Figura 5-1: Distribuição granulométrica dos solos pela técnica de peneiração seca.



Ao proceder a uma análise comparativa entre a amostra 1 e a amostra 2, constata-se que ambas se inserem na categoria de solos classificados como areia argilosa e mistura de areia e argila, sendo categorizados como mal graduados (SC) conforme os parâmetros estabelecidos pelo SUCS. Entretanto, uma distinção notável entre esses dois tipos de solo repousa no índice de plasticidade, evidenciando-se um valor superior na amostra 1, com um IP de 11 e um IP de 8 para a amostra 2 (Tabela 5-4). Além disso, é relevante mencionar que o solo da amostra 1 apresenta um valor de expansibilidade de 8,5 %, que é relativamente superior ao do solo da amostra 2 (7,8 %). É reconhecido que a expansibilidade excessiva dos solos influencia a resistências das construções erguidas.

A discrepância substancial na composição granulométrica entre as amostras 1 e 2, caracterizada por uma maior proporção de partículas de areia e uma parcela reduzida de partículas argilosas, influencia diretamente no índice de plasticidade observado (Tabela 5-4). Apesar dessa disparidade, o solo da amostra 2 se revela mais propício para aplicações construtivas em ambiente de construção em terra na comunidade de Goane 1, provavelmente porque possui valores inferiores de plasticidade e de expansibilidade relativamente ao solo da amostra 1 (Tabela 5-4). Esta proposição é corroborada pelo diálogo mantido com o Líder Comunitário local, que confirmou os benefícios desse solo para uso nas construções locais.

Evidencia-se que o solo da amostra 2 possui a capacidade de oferecer vantagens concretas, uma vez que as suas propriedades se alinham de maneira mais adequada com as técnicas construtivas tradicionais, nomeadamente a construção em terra do tipo pau-a-pique. As particularidades intrínsecas da amostra 2, englobando sua composição granulométrica ajustada e índice de plasticidade moderado, potencialmente contribuem para a longevidade e a estabilidade das estruturas na comunidade de Goane 1. Dessa maneira, a análise comparativa entre os solos das amostras 1 e 2 enfatiza a imperatividade de considerar de forma minuciosa as características singulares de cada amostra ao efetuar a seleção do material apropriado para empreendimentos construtivos na região em questão.

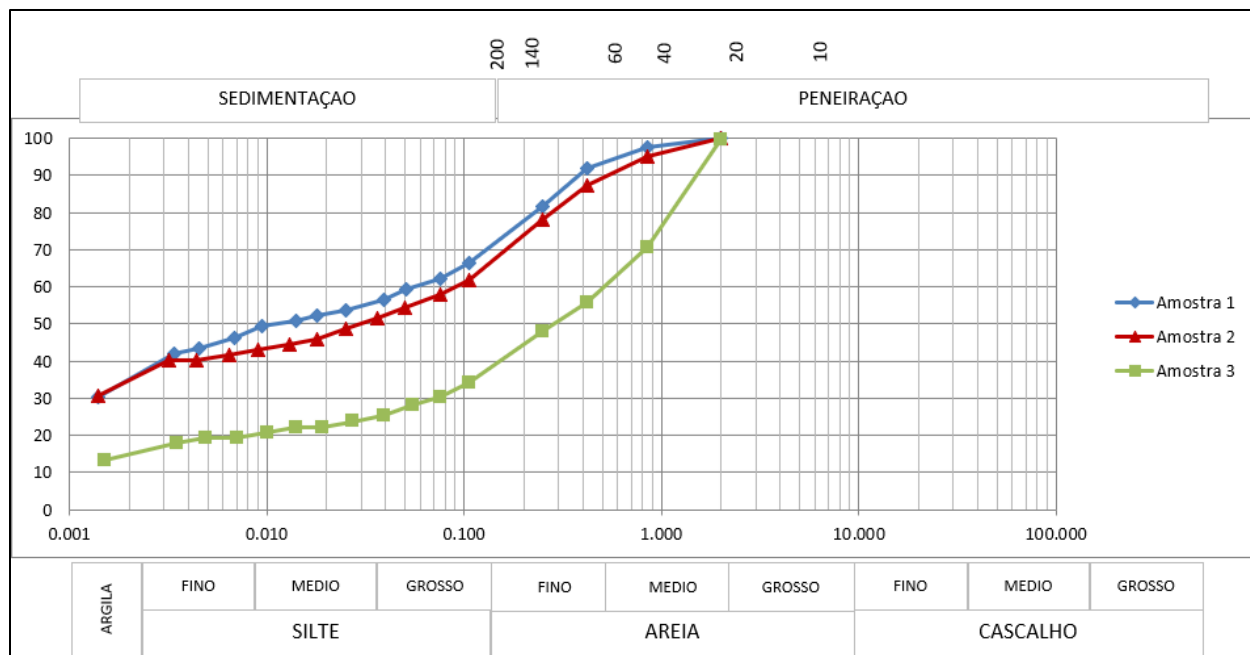


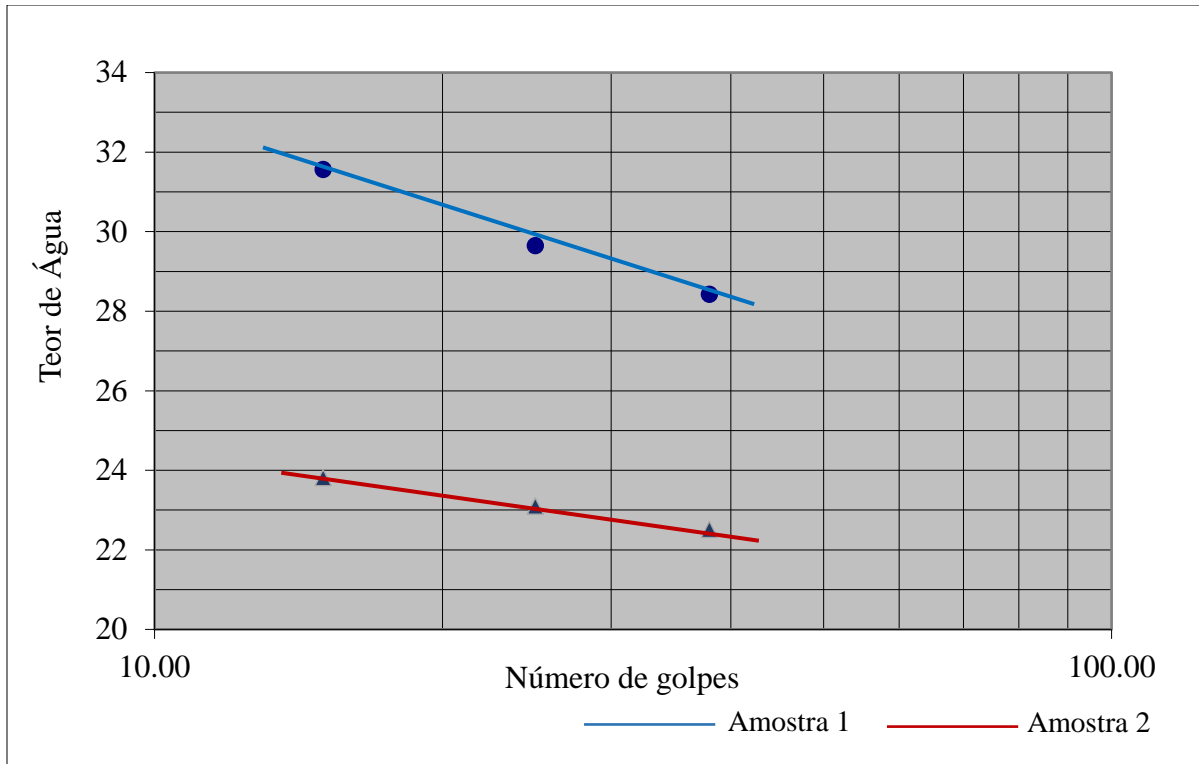
Figura 5-2: Resultados do ensaio de granulometria conjunta.

A amostra 3 se distingue significativamente das características observadas nos solos das amostras 1 e 2, revelando uma composição textural completamente distinta. A análise granulométrica evidencia que cerca de 94.34% das partículas presentes nesses solos possuem diâmetro inferior a 2 mm, enquanto aproximadamente 18,61% possuem diâmetro inferior a 0,075 mm (Tabela 5-4). Esses solos exibem uma predominância de partículas de areia, que compõem mais de 80% da sua composição total, com as partículas finas, representativas de silte (13%) e argila (7%), totalizando cerca de 20% (Figura 5-2). Conforme os parâmetros estabelecidos pelo SUCS, estes solos são identificados como areias siltosas e mistura de areia e silte mal graduadas (SM).

Uma característica de assinalar é a impossibilidade de determinação dos parâmetros de plasticidade (LL e LP) no solo da amostra 3, indicando uma limitada capacidade de plasticidade e moldabilidade. A Figura 5-3, apresenta os resultados dos ensaios de limite de liquidez para a amostra 1 (LL = 30% e LP = 18%) e amostra 2 (LL = 23% e LP = 15%) respectivamente. O facto do solo da amostra 3 ser não plástico (NP) torna-o menos adequado para a construção em terra, onde a plasticidade é um fator importante para a adesão e a coesão dos materiais durante o processo de modagem e compactação.

Além disso, a taxa de expansibilidade do solo da amostra 3 é muito reduzida, situando-se em torno de 0.6%. Isso implica que esses solos não têm uma tendência para alterações de volume em resposta à absorção de água, em comparação com os solos das amostras 1 e 2.

A combinação dessas características - alta proporção de areia, baixa percentagem de partículas finas, índice de plasticidade nulo e baixa taxa de expansibilidade - torna os solos da amostra 3 menos favoráveis para aplicações construtivas, especialmente na técnica de construção em terra. Sua baixa plasticidade pode resultar em dificuldades durante o processo de modagem e compactação, comprometendo a coesão e a estabilidade das estruturas construídas.



**Figura 5-3:** Resultados do ensaio para determinação do Limites de Liquidez.

Uma análise mais detalhada da plasticidade dos solos investigados, realizada com o auxílio da carta de plasticidade, revela uma classificação dos solos das amostras 1 e 2 como pertencentes à categoria CL (Figura 5-4). Esta designação corresponde a argilas inorgânicas com plasticidade variando de baixa a média, que podem incluir argilas com presença de seixos, argilas arenosas, argilas siltosas e argilas de baixo teor de matéria orgânica. De acordo com a classificação adotada pelo SUCS, solos com essa faixa de plasticidade tendem a exibir uma resistência média a alta quando estão em estado seco. A exsudação, processo de expulsão de água quando submetido a pressão, varia de nula a muito lenta, e a rigidez desses solos é geralmente baixa.

Segundo a carta de plasticidade ilustrada na Figura 5-4, a amostra 3 é classificada como ML. Esta designação corresponde a siltes inorgânicos e areias muito finas com baixa plasticidade, que podem incluir pó de pedra e areias finas siltosas ou argilosas.

Esses resultados indicam que os solos investigados apresentam características que podem influenciar diretamente a sua resistência, deformabilidade e comportamento quando sujeitos a carregamentos. Solos com plasticidade moderada são frequentemente empregados em construções devido à sua capacidade de oferecer uma resistência adequada, enquanto permite alguma deformação sem comprometer a integridade das estruturas. Portanto, a compreensão da plasticidade dos solos é vital para engenheiros geotécnicos, uma vez que esses dados fundamentam a tomada de decisões na seleção de técnicas construtivas adequadas, bem como na avaliação da estabilidade e desempenho das estruturas ao longo do tempo.

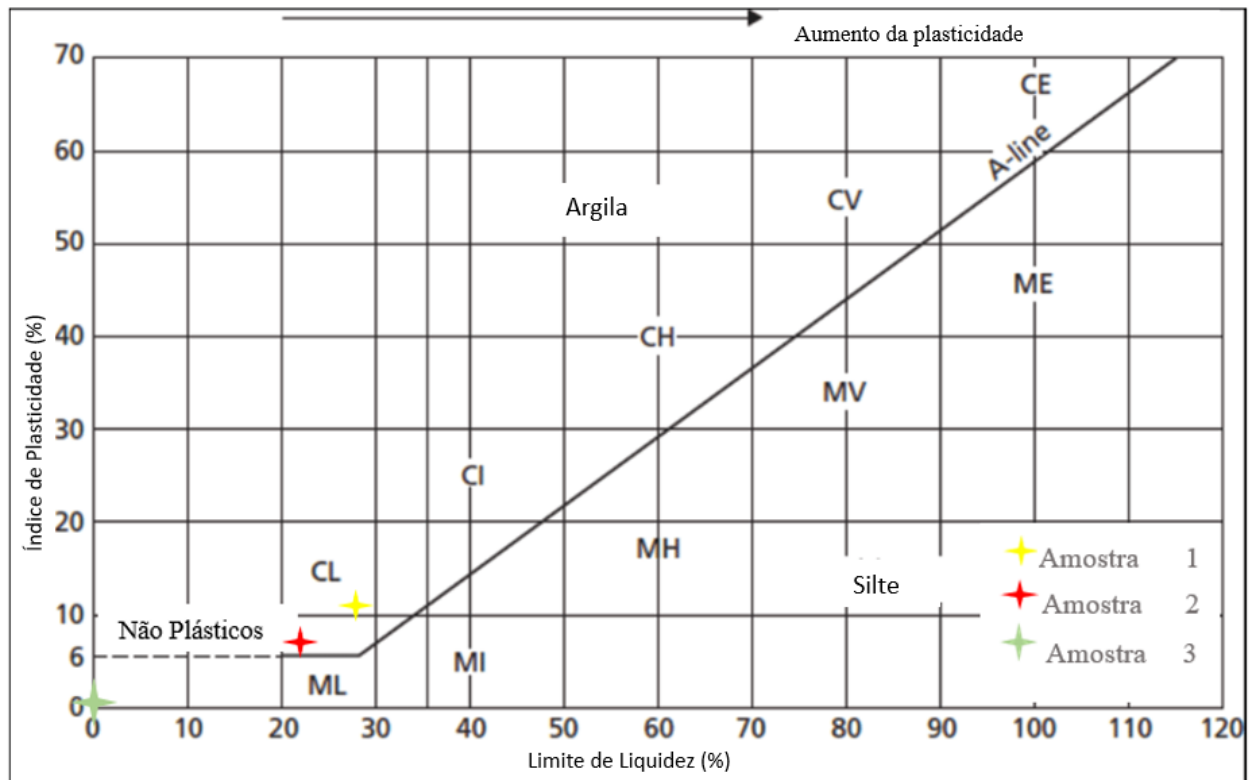


Figura 5-4: Classificação dos solos de acordo com a carta de plasticidade.

A densidade das partículas é uma propriedade intrínseca que varia em relação à composição textural e mineralógica das partículas do solo, como destacado por Wachilala (2018). A Tabela 5-4 ilustra a variação dos valores da densidade das partículas constituintes dos solos examinados, situando-se entre 2.50 e 2.62. As amostras classificadas como areias argilosas exibem valores de densidade relativamente baixos, registrando 2.52 para a amostra 1 e 2.50 para a amostra 2, quando comparados com as areias siltosas, as quais apresentam uma densidade de 2.62.

Os valores obtidos para a densidade dos solos podem ser atribuídos a uma série de fatores. Primeiramente, a presença de partículas mais finas e a mistura de argila e silte nas areias argilosas podem contribuir para valores mais baixos de densidade, uma vez que os minerais de argila, e mesmo as partículas de silte, possuem pesos específicos inferiores aos grãos de areia disseminados na restante matriz do solo, de natureza essencialmente argilosa (SC).

Além disso, a mineralogia das partículas também influencia a densidade do solo. Certos minerais, como a argila, têm densidades mais baixas (2.20 – 2.60) em comparação com minerais mais densos, como feldspatos (2.50 – 2.60) e quartzo (2.65) frequentemente encontrados em areias. Isso pode contribuir para as diferenças de densidade observadas entre os solos areno-argilosos (SC) e os solos areno-siltosos (SM).

É importante mencionar que a densidade das partículas do solo também pode ser influenciada pela presença de matéria orgânica. A amostra 2, por exemplo, pode apresentar uma densidade mais baixa devido à maior quantidade de matéria orgânica incorporada em comparação com as outras

amostras. A matéria orgânica, como resíduos vegetais em decomposição, tende a ser mais leve do que as partículas minerais, o que pode resultar em uma redução na densidade aparente do solo.

É relevante considerar que a densidade das partículas influencia diversas propriedades geotécnicas do solo, incluindo a sua resistência, a capacidade de suporte de carga e o comportamento face à compactação. Portanto, a avaliação das densidades dos solos é crucial para compreender suas características físicas e mecânicas, sendo um fator fundamental para o planeamento e execução de projetos de construção que envolvem esses tipos de solos.

A compactação é um procedimento de estabilização de solos que envolve a aplicação de energia por meio de métodos como impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica (Das & Sobhan, 2007). Essa técnica resulta na redução do índice de vazios e aumento do peso volúmico do solo, aumentando consequentemente a sua resistência ao cisalhamento, enquanto diminui a permeabilidade e compressibilidade do mesmo. Através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor em água e o peso volúmico seco de um solo, quando compactado com determinada energia. O ensaio mais comum é o de Proctor (Normal ou Modificado), que é realizado através de sucessivos impactos do pilão padronizado sobre a amostra, devidamente humedecida e homogeneizada.

O estudo em questão empregou o ensaio de compactação do tipo Proctor Normal para investigar propriedades de solos específicos. Esse ensaio permitiu a compreensão detalhada das reações dos solos sob diversos níveis de compactação, fornecendo dados cruciais para avaliar seu comportamento mecânico e resistência. Os resultados obtidos permitiram estabelecer a relação entre humidade e densidade dos solos compactados, representada pela Curva de Compactação, indicando o valor para o teor em água ótimo para o peso volúmico seco máximo (baridade seca máxima) de cada solo (Figura 5-5).

**Tabela 5-4:** Resultados do ensaios de granulometria, densidade de partículas, limites de consistência e expansibilidade.

ID	Ensaio de Laboratório – Quadro Resumo										
	Granulometria				Densidade de partículas g/cm <sup>3</sup>	Limites de Consistência			Expansibilidade	Compacção	Classificação SUCS
	%					%					
>2.00 mm	<2.00mm	<0.425mm	<0.075mm	LL	LP	IP					
Amostra 1	0.39	99.61	73.74	47.89	2.52	30	18	11	8.5	Teor em água ótimo: 17.2% Peso volúmico seco máximo: 1.77 g/cm <sup>3</sup>	SC – Areia argilosa e mistura de areia e argila, mal graduadas
Amostra 2	0.06	99.45	70.47	41.68	2.50	23	15	8	7.8	NA	SC – Areia argilosa e mistura de areia e argila, mal graduadas
Amostra 3	5.56	94.34	55.85	18.61	2.62	NP			0.6	Teor em água ótimo: 11.6% Peso volúmico seco máximo: 1.87 g/cm <sup>3</sup>	SM – Areia siltosa e mistura de areia e silte, mal graduada

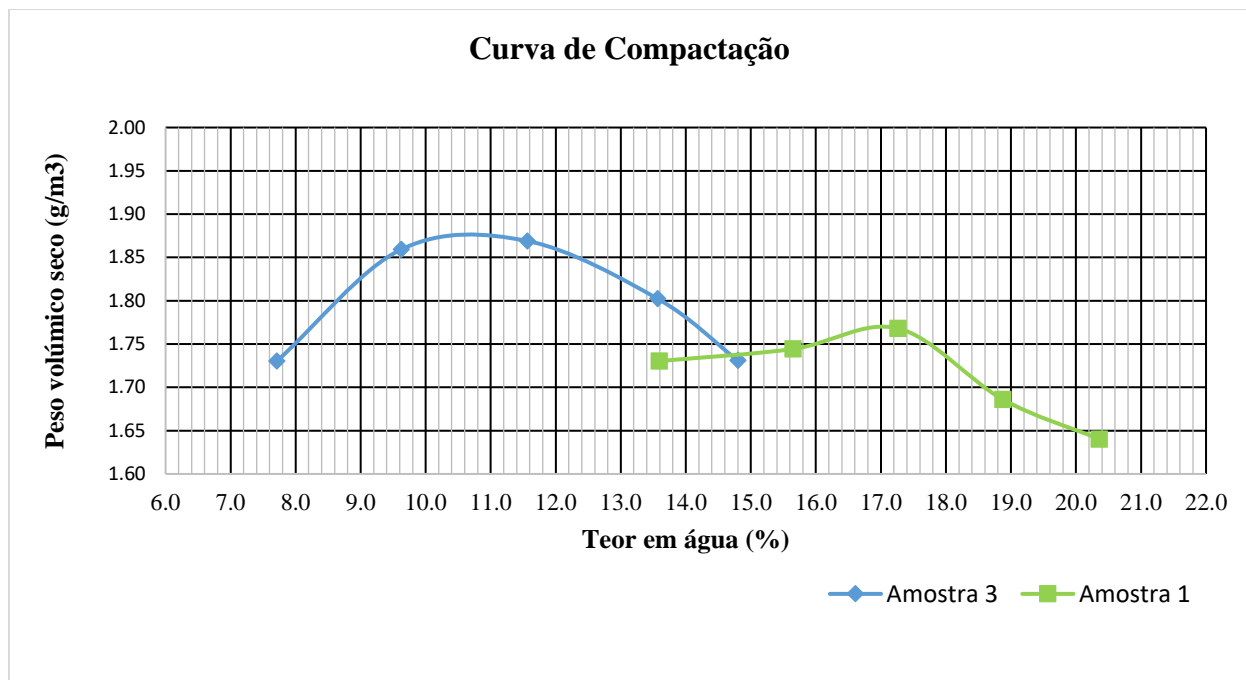


Figura 5-5: Curvas de compactação para as amostras 1 e 3.

Adicionalmente, o ensaio proporcionou *insights* sobre a energia de compactação aplicada, impactando diretamente a densidade alcançada. O controlo dessa energia foi possível por meio da seleção do equipamento e do número de camadas e pancadas durante o ensaio. A análise foi conduzida para duas amostras, a amostra 1 e a amostra 3, enquanto a amostra 2 foi excluída devido à insuficiente quantidade de material, comparando com a amostra 1, que é algo semelhante. Os resultados indicaram que a amostra 1 apresenta valores de teor em água ótimo e peso volumico seco máximo de 17.2% e 1.77 g/cm<sup>3</sup> respetivamente. Por sua vez a amostra 3 apresenta valores de teor em água ótimo e peso volumico seco máximo de 11.6% e 1.87 g/cm<sup>3</sup> respetivamente, conforme ilustrado na Tabela 5-5.

Tabela 5-5: Resultados do ensaio de compactação.

ID	Teor em água ótimo (%)	Peso volumico seco máximo (g/cm <sup>3</sup> )
Amostra 1	17.2	1.77
Amostra 3	11.6	1.87

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que a máxima compactidade, refletindo-se na resistência e estabilidade dos solos, é alcançada em diferentes valores do teor em água ótimo, para os dois solos ensaiados: 17.2% para a amostra 1 e 11.6% para a amostra 3. Observou-se uma relação inversa entre o teor em água e o peso volumico seco máximo do solo, onde um menor teor em água resultou um maior peso volumico seco (Tabela 5-5). Tais conclusões corroboram com estudos prévios realizados por Lourenço (2002) e Pacheco-Torgal et al. (2009), conforme citados por Wachilala (2017), que destacam a faixa ótima de humidade entre 9% e 17% para processos de estabilização de solos a utilizar na construção em terra. De acordo com Duarte (2014; 2017), os

solos mais argilosos têm teor em água ótimos mais elevado e peso volúmico seco máximo mais baixo, que os solos arenosos, fato verificado através dos resultados obtidos.

A concordância dos solos investigados com os intervalos ótimos de humidade referidos, possui significativas implicações para a sua viabilidade na construção em terra na comunidade de Goane 1. Esse alinhamento indica que esses solos possuem propriedades favoráveis para serem utilizados como material de construção, considerando-se as características específicas da região.

Os valores para o teor em água ótimo recomendados, e que os solos estudados efetivamente abrangem, é crucial para alcançar a máxima densidade e, conseqüentemente, a resistência e estabilidade desejadas em construções em terra. A coesão e compactação resultantes desses níveis ideais de humidade são essenciais para garantir que as estruturas construídas com esses solos possam suportar cargas aplicadas e as variações climáticas presentes na comunidade de Goane 1.

Diferentemente do padrão convencional, as areias siltosas analisadas não demonstraram a esperada redução da necessidade de água para alcançar a máxima densidade, característica geralmente associada a solos argilosos. Esse facto suscita considerações relevantes. Uma possível explicação reside na influência de silte na amostra 3, a qual poderia estar desempenhando um papel no preenchimento dos espaços vazios dentro do solo, o que por sua vez, poderia estar demandando quantidades mais substanciais de água para garantir a estabilização adequada durante o processo de compactação.

### **5.3. Produção Experimental de Adobes**

A produção de adobe foi realizada em um contexto experimental, uma vez que durante as atividades de campo não foram observadas construções feitas com essa técnica construtiva. Durante a sequência de ensaios conduzidos nos solos, tornou-se aparente a capacidade potencial dos solos para a confecção de adobes, especialmente nos solos de composição areno-argilosa, que exibem uma proporção adequada de areia (59.42%), silte (13.15%) e argila (27.43%), conforme preconizado por Doat et al. (1985), citado por Inácio (2016). No entanto, a elaboração dos adobes foi realizada tanto utilizando os solos areno-argilosos quanto os solos areno-siltosos, a fim de avaliar a aplicabilidade de ambos os tipos para a fabricação de tijolos de adobe.

A produção dos adobes seguiu abordagens naturais, sem a incorporação de aditivos nos solos, bem como a introdução de aditivos tais como capim, cinza, esterco com combinações distintas das características identificadas nos solos (Tabela 5-6). O método de fabrico empregado foi escolhido para se assemelhar ao processo rural, a fim de se adequar às condições locais encontradas nas comunidades em estudo.

Para a moldagem dos tijolos, utilizou-se um molde de madeira projetado especificamente para esse fim. Durante o processo de secagem, os tijolos foram colocados ao ar livre, considerando a exposição controlada aos raios solares. Essa abordagem seguiu as orientações de Gomes (2008) e Trindade (2008), que preconizam que as peças devem secar à sombra e em temperaturas moderadas, uma vez que essa fase é crítica, dado que mudanças de volume podem ocorrer, resultando em fissuras e degradação do material.



A abordagem experimental aplicada busca replicar tanto quanto possível as condições locais e tradicionais, levando em consideração os materiais disponíveis e os métodos de produção culturalmente relevantes. Ao avaliar diferentes composições de solo e aditivos, busca-se compreender de maneira holística a viabilidade da utilização de tijolos de adobe nas comunidades estudadas, atentando para as características específicas dos solos e para as técnicas de produção adequadas ao contexto.

**Tabela 5-6:** Produção experimental dos adobes.

Produção experimental do Adobe						
Amostra	Aditivo	Método de fábricao	Dimensõe s (cm <sup>3</sup> )	Período de produção	Tempo e processo de secagem	Moldes
Areia argilosa	Nenhum	Mistura de 4kg de solo e água 1300 ml com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira
Areia argilosa	Capim	Mistura de 4kg de solo, 300 g de capim e 1200 ml de água com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira
Areia siltosa	Nenhum	Mistura de 4kg de solo e 1200ml de água com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira
Areia siltosa	Capim	Mistura de 3kg de solo, 300 g de capim e 900 ml de água com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira
Areia siltosa	Esterco	Mistura de 3 kg de solo, 220 g de esterco e 900 ml de água com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira
Areia siltosa	Cinza	Mistura de 2kg de solo, 500 g de cinza e 500 ml de água com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira
Areia siltosa	Areia argilosa	Mistura de 700 ml de água, 2.9kg areia siltosa e 0.72kg de argilosa com as mãos	29x10x10	Junho à Julho	24 dias ao ar livre	Madeira

Foram confeccionadas, no total, sete amostras de corpos de prova, cada uma submetida a diferentes níveis de hidratação, levando em consideração os valores do teor em água ótimo identificados através do processo de compactação. O primeiro bloco de adobe, produzido exclusivamente a partir da areia argilosa, exibiu fissuras de retração (Figura 5-6) após um período de vinte e quatro horas desde a sua fabricação e subsequente exposição ao ambiente atmosférico, com o propósito de secar ao ar livre. A análise desse aspecto específico revela a sua causa na proporção de água incorporada na mistura de solo, e intensificada pela direta incidência de radiação solar. Esse contexto combinado culminou na geração de taxas acentuadas de retração e expansão do material do adobe quando exposto aos raios solares.

É plausível também considerar outra explicação, associada ao grau de compactação empregado durante a produção do adobe. É possível conjecturar que esse procedimento possivelmente não foi executado de maneira a assegurar a resistência estrutural e a estabilidade do produto final, o que impossibilitou a realização de testes de resistência do adobe. O adequado grau de compactação é crucial para garantir uma distribuição uniforme das partículas e a minimização dos espaços vazios, o que contribui diretamente para a integridade mecânica do adobe.

A partir de uma análise preliminar realizada no primeiro bloco confeccionado, uma subsequente etapa consistiu na produção de um segundo bloco, através da composição entre areia argilosa e capim (fibra vegetal). De acordo com os achados documentados por Inácio (2016), a introdução de fibras representa uma estratégia para incrementar a resistência dos elementos construtivos em adobe, ao mesmo tempo em que se aprimora o seu comportamento estrutural. Especificamente, essa melhoria é notável no que diz respeito à resistência à tração.

As fibras empregadas podem ser oriundas de fontes naturais, sintéticas ou metálicas, abrangendo materiais como palha, capim, fibras de vidro ou mesmo metálicas. Este espectro de possibilidades confere maior flexibilidade às técnicas de reforço, permitindo uma seleção que se alinha com as necessidades particulares de cada solo.



Figura 5-6: Adobe deformado antes do tempo de cura.

Analisando os provetes produzidos, com e sem reforço, observou-se que o adobe produzido a partir da areia argilosa com reforço de capim, alcançou uma notável tensão de rotura de cerca de 2.05 MPa próxima a tensão de rotura admissível estabelecida pela NBR 15.812-1:2010 (Tabela 5-7). Esse resultado substancial reforça a capacidade inerente do capim em estabilizar a estrutura do adobe, aumentando a sua resistência e conseqüentemente a sua durabilidade.

Vale ressaltar que a NBR 15.270 estabelece que a tensão de rotura admissível para elementos de adobe deve ser superior a 1.5 MPa para blocos com furos horizontais e superior a 3.5 MPa para blocos com furos verticais. Além disso, a NBR 15.812-1:2010 estipula que, para a execução de alvenaria estrutural utilizando blocos cerâmicos, a resistência mínima do bloco deve ser de 3.0 MPa, sendo recomendada a resistência de 10.0 MPa para alvenarias aparentes. Conforme informações de Parsekian (2010), o bloco cerâmico estrutural mais comumente disponível no mercado possui uma resistência de 6.0 MPa, sendo relativamente raro encontrar fabricantes que ofereçam resistência superior a esse valor.

**Tabela 5-7:** Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Provete	Data de fabrico	Data de ensaio	Idade (dias)	Peso (kg)	Secção (10 mm <sup>2</sup> )	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)
1 - Areia argilosa com capim	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	4.64	29	59.5	2.05
2- Areia siltosa	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	4.26	29	11.3	0.39
3 - Areia siltosa com areia argilosa	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3.61	29	10.1	0.34
4 - Areia siltosa com esterco	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3.47	29	9.8	0.34
5 - Areia siltosa com capim	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3.62	29	9.3	0.32

Comparando os adobes produzidos a partir da areia siltosa sem e com reforço, observou-se que, os adobes sem reforço apresentaram maior resistência. A inclusão de aditivos às areias siltosas visando o reforço dos adobes produzidos a partir delas, conduziu a uma redução na resistência dos adobes produzidos. Essa tendência pode ser influenciada pelas proporções relativas entre o solo e os aditivos empregados, além das interações entre eles. Em contrapartida, a composição que resultou da mistura entre areia siltosa e areia argilosa, assim como a composição de areia siltosa combinada com esterco, demonstrou adobes mais resistentes, alcançando aproximadamente 0.34 MPa.

No entanto, a introdução de capim nos solos areno-siltosos resultou em uma redução na resistência dos adobes produzidos. Essa diminuição pode estar relacionada ao grau de compactação aplicado durante o processo de fabrico. Contrariando as expectativas, o capim pode ter atuado não como agente de coesão, mas sim de desagregação, possivelmente contribuindo para uma distribuição irregular das partículas e afetando negativamente a integridade estrutural.

É crucial considerar a complexa interação entre os diversos elementos envolvidos no processo de fabrico dos adobes. As proporções dos diferentes materiais, o grau de compactação e as características individuais do solo e dos aditivos podem desempenhar funções importantes no resultado final. Uma análise mais aprofundada desses fatores é fundamental para entender as razões subjacentes às variações de resistência observadas.

Essas descobertas ressaltam a importância de conduzir testes rigorosos e explorar diferentes combinações de materiais, antes de implementar novos aditivos ou técnicas em larga escala. A compreensão completa das interações entre os componentes pode orientar a formulação de misturas otimizadas para alcançar os níveis desejados de resistência e durabilidade nos adobes, maximizando assim o sucesso das aplicações construtivas.

## **CAPÍTULO VI: CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

---

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. Considerações Finais

O objetivo central deste estudo foi analisar o comportamento dos diferentes tipos de solos, com e sem reforço, a fim de desenvolver técnicas construtivas sustentáveis e resilientes, que possam servir como alternativas eficazes às práticas convencionais, contribuindo para a redução do aquecimento global e promovendo um futuro mais sustentável para as comunidades rurais do Distrito de Moamba, na Província de Maputo em Moçambique.

Nas pesquisas feitas no campo, ficou claro que nas comunidades rurais de Goane 1, o método de construção mais comum é o pau-a-pique, também chamado de maticado. Esse método envolve fazer uma estrutura entrelaçada de caniços que depois é preenchida com terra argilosa, principalmente para fazer as paredes das casas. Essas construções são geralmente feitas por uma ou duas pessoas em um período que varia de dois a dez dias. No passado, a cobertura mais usada era feita de capim de uma planta específica designada *xiboiro* na língua local, mas devido às mudanças climáticas que trazem longos períodos de seca, esse tipo de planta está cada vez mais raro. Por isso, hoje em dia, é mais comum ver coberturas de chapas de zinco.

Entretanto, existem problemas comuns nessas construções. As paredes costumam ter rachaduras por causa da retração das argilas, influenciado principalmente pela alta variação térmica que se regista na região como consequência das mudanças climáticas calor. Além disso, as estacas usadas no pau-a-pique apodrecem por causa das térmitas, chamados na língua local como *murmuché*.

Para evitar as rachaduras nas paredes devido à retração das argilas, é possível adicionar substâncias que ajudem a argamassa a ficar mais estável. Também é importante calcular bem como a estrutura vai ser montada, levando em conta as características das argilas do local.

Quanto às estacas que apodrecem por causa das térmitas *murmuché*, é recomendado tratar a madeira com produtos específicos para protegê-la desses insetos. Como uma solução local, pode-se usar, por exemplo o óleo queimado, que é encontrado das máquinas que operam em algumas empresas locais, para passar nas estacas e protegê-las. Também é fundamental conscientizar as pessoas sobre a importância de fazer manutenção nas construções, como verificar se as estacas estão boas e trocar as que estiverem danificadas.

É relevante salientar que o avanço económico observado na região tem levado à substituição gradual do método construtivo tradicional baseado em terra por casas de alvenaria. Esse fenómeno poderia resultar no declínio da utilização desse método construtivo específico no cenário local, devido ao fortalecimento do poder económico das comunidades.

Para identificar o tipo de solo prevalente na área, foram conduzidos diversos ensaios expeditos in situ e análises laboratoriais sobre as amostras coletadas em campo. Esses procedimentos englobaram avaliações táteis e visuais, teste de queda da bola, análise do brilho, teste de retração, sedimentação (teste de garrafa), análise granulométrica, densidade de partículas, limites de consistência, ensaio de compactação do tipo Proctor normal e ensaio de expansibilidade. Os

resultados derivados desses ensaios proporcionaram a identificação primordial de dois tipos de solo predominantes: as areias argilosas e as areias siltosas.

A prática local de construção com terra se concentra especialmente nas areias argilosas, com maior preferência para aquelas provenientes do *murmuché*. A composição desses solos abrange cerca de 59.42% de areia, 13.15% de silte e 27.43% de argila, proporções que são consideradas adequadas para o uso em construções de terra.

No entanto, os solos siltosos demonstraram ser menos adequados como materiais sustentáveis de construção em terra, com base nas análises realizadas. Esses solos consistem predominantemente em aproximadamente 80% de areia, 13% de silte e 7% de argila. Ao contrário das areias argilosas, que exibem um índice de plasticidade variando de 7% a 11% e são classificadas como solos de plasticidade média, as areias siltosas foram classificadas como não plásticas, com índice de plasticidade nulo. A ausência de plasticidade nesses solos indica uma capacidade limitada de moldagem e maleabilidade. Essa característica os torna menos adequados para a construção em terra, uma vez que a plasticidade é um fator fundamental para a aderência e coesão dos materiais durante as etapas de modelagem e compactação.

Por outro lado, as areias argilosas exibiram maiores taxas de retração e expansibilidade em comparação com as areias siltosas, porém essas taxas permanecem dentro de limites aceitáveis. Esses achados enfatizam a importância de selecionar cuidadosamente os solos para construção, considerando suas características físicas e comportamento frente a diferentes condições ambientais. Portanto, ao projetar estruturas de construção em terra, a preferência pelas areias argilosas, que oferecem uma combinação favorável de propriedades, pode resultar em uma construção mais durável e resistente ao longo do tempo.

A compactidade dos solos é um fator fundamental que também impacta a adequação desses materiais para construção. Com base nos resultados obtidos, foi observado que a máxima compactidade, que reflete resistência e estabilidade, varia em relação às areias argilosas e siltosas, ocorrendo em diferentes níveis de humidade ótima: 17.2% para as areias argilosas e 11.6% para as areias siltosas.

Uma relação inversa entre o teor de humidade e o peso específico seco do solo foi identificada, indicando que menores níveis de humidade resultam em uma maior densidade do solo. A análise desses resultados demonstra que esses solos estão em conformidade com os parâmetros estabelecidos, sugerindo que possuem propriedades favoráveis para serem utilizados como material de construção, levando em consideração as particularidades da região.

Esses achados têm implicações significativas na seleção e preparação dos solos para construção. O conhecimento das humidades ótimas associadas à máxima compactidade é essencial para alcançar uma resistência e estabilidade adequadas nas construções de terra. Além disso, a compreensão da relação entre a humidade e o peso específico seco contribui para a formulação de práticas construtivas otimizadas.

Os resultados encorajadores obtidos durante a realização dos ensaios, aliados à ausência de habitações construídas com adobes na área de estudo, desencadearam um processo de produção experimental de adobes, fazendo uso dos solos identificados previamente. Os resultados

emergentes dessas experimentações são considerados promissores, embora ainda careçam de investigações posteriores para uma compreensão mais completa.

As análises realizadas destacam a maior viabilidade das areias argilosas em relação às areias siltosas para a produção de adobes. Contudo, a introdução de reforços, como o capim, contribuiu para um incremento na resistência desses adobes. Esse achado é significativo, pois ressalta a possibilidade de aprimorar as características dos adobes por meio da incorporação de elementos de reforço.

No entanto, é importante ressaltar que, apesar dos resultados promissores, a pesquisa ainda está em estágios preliminares. Futuras investigações são necessárias para aprofundar a compreensão dos aspectos mecânicos, durabilidade e sustentabilidade desses adobes produzidos experimentalmente. Além disso, a análise das implicações práticas e econômicas da produção e uso desses adobes também requer uma avaliação mais aprofundada.

O potencial de desenvolver adobes mais resistentes e eficazes usando os solos locais e reforços como o capim pode ter implicações positivas para as práticas construtivas na região. Ao unir conhecimentos técnicos e experimentais, essa abordagem busca oferecer alternativas viáveis e sustentáveis para as comunidades rurais, contribuindo para sua capacidade de construir estruturas resilientes que atendam às suas necessidades e desafios específicos.

## 6.2. Recomendações

Com base nas conclusões e *insights* obtidos a partir deste estudo, as seguintes recomendações são sugeridas para direcionar as abordagens futuras e as ações práticas visando o desenvolvimento sustentável e melhoramento das condições construtivas nas comunidades rurais do Distrito de Moamba:

- **Promoção da Construção Sustentável:** Dado o impacto positivo das práticas de construção em terra, como o pau-a-pique, na redução das emissões de gases de efeito estufa e na minimização da pegada de carbono, é recomendável promover e valorizar essas técnicas construtivas tradicionais. Isso pode ser realizado por meio de campanhas de conscientização, sensibilização, capacitação junto do público-alvo, bem como a atribuição de incentivos governamentais.
- **Realizar ensaios adicionais:** Realização de ensaios adicionais como espectrometria de fluorescência de raios-X e difração de raios-X para aprofundar a caracterização química e mineralógica dos solos identificados. Essa análise mais detalhada permitirá uma compreensão mais profunda e abrangente das propriedades dos solos e de que forma a sua composição química e mineralógica podem influenciar a sua aplicação na construção em terra.
- **Integração de Tecnologias Tradicionais e Modernas:** Em vez de substituir completamente as práticas de construção tradicionais por alvenaria, é benéfico explorar maneiras de integrar elementos modernos, como técnicas de reforço, isolamento térmico e



outras soluções tecnológicas que podem otimizar a durabilidade, eficiência energética e resistência das estruturas em terra.

- **Preservação e Uso Sustentável dos Recursos Naturais:** A crescente escassez de recursos naturais, como a planta xiboiro para coberturas, exige a adoção de abordagens sustentáveis. A promoção de métodos de cultivo, manejo florestal e uso consciente desses recursos pode contribuir para sua disponibilidade a médio e longo prazo.
- **Resistência a Impactos das Mudanças Climáticas:** Dado o aumento da variabilidade climática, é crucial projetar estruturas que possam resistir a eventos climáticos extremos, como secas e enchentes. O desenvolvimento de técnicas construtivas adaptativas, incluindo sistemas de drenagem e isolamento térmico eficazes, pode reduzir os impactos negativos.
- **Aprofundar Estudos de Durabilidade:** Considerando que os resultados promissores obtidos nas produções experimentais de adobes ainda carecem investigações adicionais, recomenda-se realizar estudos mais aprofundados sobre a durabilidade desses adobes em condições climáticas variadas e ao longo do tempo. Isso permitirá avaliar a resistência a fatores externos, como humidade, variações de temperatura e exposição aos agentes meteorológicos em condições extremas.
- **Análise de Viabilidade Económica:** Além da avaliação técnica, é importante conduzir uma análise abrangente de viabilidade económica da produção e uso de adobes reforçados com capim. Isso inclui a estimativa dos custos envolvidos na produção, transporte e implementação desses adobes em comparação com outros métodos convencionais de construção.
- **Desenvolvimento de Técnicas de Produção:** Investir na pesquisa e desenvolvimento de técnicas otimizadas para a produção de adobes é essencial. Isso pode incluir a formulação de misturas ideais de solo, capim e outros materiais de reforço, além da exploração de métodos de compactação, moldagem e secagem mais eficazes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bardgett, R. D., Freeman, C., & Ostle, N. J.** (2008). Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. *The ISME Journal*, 2(8), 805-814.
- Brady, N. C., & Weil, R. R.** (2016). *The nature and properties of soils*. Pearson Education.
- Bragança, L., et al.** (2017). Bio-based building skin. In *Bio-based Building Skin* (pp. 1-14). Springer.
- Branco, F., Ferreira, J. & Correia, J.R.,** A Evolução das Construções. <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/ad/00%20-%20Evolu%C3%A7%C3%A3o%20das%20constru%C3%A7%C3%B5es%20-%20COR.pdf>
- Coduto, D. P.** (2011). *Geotechnical engineering: Principles and practices*. Pearson Education.
- CORDEIRO, Carol Cardoso Moura et al.** Construções vernáculas em terra: perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 10, p. e019006, jan. 2019. ISSN 1980- 6809. Disponível em: doi:<https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8651212>
- Das, B.M.** (2018). *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.
- Dethier, Jean.** (1982) “Le Génie de la Terre” in “Des Architectures de Terre”. Centre Georges Pompidou, Paris.
- Duarte, S. R.** (2013). “Construir com a Terra - Uma proposta de intervenção no bairro do Barruncho, Odivelas” . Faculdade de Arquitetura, Lisboa, Portugal.
- Duarte, I.M.R., Pedro, E. D. C., Varum, H., Mirão, J.A.P and Pinho, A. P.** (2014) - Influence of geological features (geochemistry and mineralogy) of soil witch constitutes adobes in their durability - Huambo, Angola. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 16, EGU2014-13435-1, European Geosciences Union, Vienna, Austria. (<http://hdl.handle.net/10174/13810>)
- Duarte, I.M.R., Pedro, E.D.C., Varum, H., Mirão, J. & Pinho, A.** (2017) – Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2017) 76:125-132. Print ISSN 1435-9529. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI 10.1007/s10064-015-0800-3. Published online 14 October 2015. Doi: 10.1007/s10064-015-0800-3. (<http://hdl.handle.net/10174/17320>).
- Embrapa Solos.** (2011). *Manual de métodos de análise de solo*. Embrapa Solos.
- FAO.** (2015). *World soil resources report: state of the knowledge base on soil erosion and strategies for sustainable soil management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gernot Minke.** (2006). *Building with Earth. Design and Technology of Sustainable Architecture*. Birkhäuser – Publishers for Architecture Basel. Berlin. Boston.

- Gilluly**, James; Waters, Aaron Clement; Woodford, Alfred Oswald (1975). Principles of geology 4th ed. San Francisco, California: W.H. Freeman. ISBN 978-0-7167-0269-6.
- Holtz**, R.D., Kovacs, W.D., and Sheahan, T.C. (2011). An Introduction to Geotechnical Engineering. Pearson.
- Inácio**, Carlos Alberto Espírito Santo. (2016). Estudo do Solo Enquanto Material de Construção Sustentável. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, Portugal.
- Jones**, J.B. (2003). Agronomy Series - Soil Microbiology and Biochemistry. CRC Press.
- Juarte**, Elísio João. (2002). Susceptibilidade dos Solos da Província de Maputo à Compactação. Departamento de Engenharia, Faculdade de Agronomia e Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane
- Kennedy**, C., et al. (2019). The changing metabolism of cities. Journal of Industrial Ecology, 23(3), 543-554.
- Kibert**, C. J. (2016). Sustainable construction: green building design and delivery. John Wiley & Sons.
- Lal**, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, 7(5), 5875-5895.
- LNEC**. (1966). E 195 - 1966 – Solos. Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação. LNEC, Lisboa.
- LNEC**. (1966). E 197 -1966. Solos – Ensaio de Compactação. LNEC, Lisboa.
- LNEC**. (1967) E 200 -1967 – Solos. Ensaio de expansibilidade. LNEC, Lisboa.
- LNEC**. (1970) E 239 - 1970 – Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida. LNEC, Lisboa.
- Lopes**, W. G. R. et al. (2013). A Taipa de Mão em Teresina, Piauí, Brasil: a Improvisação e o Uso de Procedimentos Construtivos. digitAR-Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes, n. 1, Coimbra.
- Mahdavi**, A., & Shukuya, M. (2019). Prefabrication in sustainable building design and construction. In Prefabrication in Building Construction (pp. 1-30). Springer.
- Mateus**, R., (2004). “Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção”. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal.
- Maurício** Rizzato Coelho, Elaine Cristina Fidalgo, Humberto Gonçalves dos Santos, Maria de Lourdes Mendonça Santos Brefin e Daniel Vidal Pérez. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas.
- Mellado**, E., et al. (2021). Green building technologies and sustainable design approaches: A review of current practices and future trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 151, 111463.

**Neves, S. C. M.** (2011). “Estudo da aplicabilidade de sistemas construtivos no desempenho da sustentabilidade na Engenharia Civil”. Tese de Mestrado em Construção, IST, Lisboa.

**NP 83 LNEC.** (1965) – Solos. Determinação da densidade das partículas. Lisboa.

**NP 84 LNEC.** (1965) – Solos. Determinação do teor em água. Lisboa. 110

**NP 143 LNEC.** (1969) – Solos. Determinação dos limites de consistência. Lisboa.

**Pedro, E., Duarte, I., Varum, H. & Pinho, A.** (2014) – Characterization of adobes in the Central Plateau of Angola. Engineering Geology for Society and Territory, G. Lollino, D. Giordan, C. Marunteanu, B. Christaras, I. Yoshinori & C. Margottini (Eds). Preservation of Cultural Heritage. Vol. 8, 54, pp. 311-316. Springer. ISBN 978-3-319-09407-6; ISBN 978-3-319-09408-3(e-Book);iDoi:10.1007/978-3-319-09408-3\_54. (<http://hdl.handle.net/10174/13854>).

**Pedro, E.D.C., Duarte, I.M.R., Varum, H., Pinho, A.B., Norman, A.** (2016). Mechanical Properties of Adobe Blocks used in Building Construction in Huambo Province - Angola. Paper 2339. Abstract 35th International Geological Congress, Cape Town, South Africa. (<http://www.americangeosciences.org/information/igc>).

**Pena, Rodolfo F. Alves.** "Pedogênese"; Brasil Escola. Disponível em:

<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/pedogenese.htm>. Acesso em 23 de abril de 2023.

**Resende, M., Curi, N., & Rezende, S.** (2019). Pedologia e mineralogia de solos: conceitos e aplicações. Viçosa: Editora UFV.

**Ribeiro, M.** (2015). O Contributo da Arquitetura Tradicional para uma Habitação “Informal” Sustentável em Moçambique. Mestrado Integrado em Arquitetura. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Escola de Tecnologias e Arquitetura. Instituto Universitário de Lisboa.

**Rocha, F., & Mateus, R.** (2019). Green building rating systems: a review of the state of the art. Sustainable cities and society, 45, 91-101.

**Salman, G. e Abdula, I.** (1995) Development of the Mozambique and Rovuma sedimentary basins, offshore Mozambique. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(95\)00125-R](https://doi.org/10.1016/0037-0738(95)00125-R)

**Santiago, Cybéle Celestino.** O solo como material de construção. 2 ed. Salvador: EDUFBA, 2001. 72p.

**Santoso, A., & Wahyudi, S.** (2018). Assessing the knowledge, perception and practice of green building towards sustainable environment. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(7), 1848-1857.

**Santos, R. B., et al.** (2020). Sustainable construction: a review of recent developments in technology, policy, and practice. Journal of Cleaner Production, 254, 120104.

**Schoenau, J. J., Malhi, S. S., & McLaughlin, N. B.** (2007). Soil fertility in relation to land use and landscape position in the northern Great Plains. Canadian Journal of Soil Science, 87(6), 669-682.

**Sengupta, N.** (2008). Use of cost-effective construction technologies in India to mitigate climate change. Current Science, 94(1), 38–43. <http://www.jstor.org/stable/24102027>

**Stepniowski, W. J., Argyroudis, S., & Sartorio, L. (2019).** Earth as a building material. Springer Nature.

**Stephenson, M.H., Ringrose, P., Geiger, S., Bridden, M. & Schofield, D. (2019).** Geoscience and decarbonization: current status and future directions. *Petroleum Geoscience, Vol. 25 | 2019 | pp. 501–508.* <https://doi.org/10.1144/petgeo2019-084>

**Teixeira, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F.** Decifrando a Terra. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 620p.

**Torgal, F., Jalali, S. (2009).** “Construção sustentável – o caso dos materiais de construção”. IPCB, Universidade do Minho, Portugal.

**UN-Habitat. (2019).** International guidelines on urban and territorial planning: Towards a paradigm shift in urban planning for sustainable development.

**United Nations. (2015).** Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponível em:

<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em: 10 de março de 2023.

**United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (2017).** Global Land Outlook.

**United States Green Building Council (USGBC). (2023).** LEED v4.1: Building Design and Construction. Disponível em: <https://www.usgbc.org/leed/v41/bdc>. Acesso em: 10 de março de 2023.

**UN-Habitat. (2019).** International guidelines on urban and territorial planning: Towards a paradigm shift in urban planning for sustainable development. Disponível em: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2019/09/international\\_guidelines\\_on\\_urban\\_and\\_territorial\\_planning\\_towards\\_a\\_paradigm\\_shift\\_in\\_urban\\_planning\\_for\\_sustainable\\_development.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2019/09/international_guidelines_on_urban_and_territorial_planning_towards_a_paradigm_shift_in_urban_planning_for_sustainable_development.pdf). Acesso em: 10 de março de 2023.

**Uryu, Larissa Valverde. (2022).** Mudanças Climáticas: Considerações Sobre Impactos No Abastecimento De Água Do Brasil. Escola de Minas - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto.

**Viegas, A., Rocha, F., & Mateus, R. (2019).** Green building rating systems: a review of the state of the art. *Sustainable cities and society*, 45, 91-101.

**Wachilala, Piedade E. Martins. (2018).** Caracterização Geoquímica, Mineralógica e Geotécnica de solos para a Construção em Terra na Província da Huíla, Angola. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, Portugal.

**Wachilala, P., Duarte, I.M.R., Pinho, A., Mirão, J. (2018) –** Caracterização mineralógica e geotécnica dos solos para a construção em terra crua no sudoeste de Angola. 16º Congresso Nacional de Geotecnia / 6as Jornadas Luso-Espanholas de Geotecnia, Universidade dos Açores, em Ponta Delgada, 27 a 30 de maio de 2018. [em suporte digital, Pen USB,

Refª.16CNG\_2018\_Artigo\_349, Atas do 16º Congresso Nacional de Geotecnia, ISBN: 978-989-96043-2-2].

**Wachilala, P.M., Duarte, I.M.R., Pinho, A.B., Mirão, J.P. & Neto M.S. (2018)** – A construção sustentável na perspetiva dos geomateriais utilizados na Província da Huíla, Angola. CLBMCS 2018 – 3º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. Coimbra, 14-16 de fevereiro de 2018. ISBN: 978-989-98949-9-0 <http://hdl.handle.net/10174/25069>

**Wachilala, P.M., Duarte, I.M.R. & Pinho A.B. (2017)** – Ensaio *in-situ* e de laboratório para a caracterização dos solos utilizados na produção de adobes na Província da Huíla, Angola.. In: J.F. Silva Gomes, C.C. António, C.F. Afonso & A.S. Matos, (Eds). *CLME 2017 / V CEM – Desafios e Oportunidades para a Engenharia na Cooperação para o Desenvolvimento*, Atas do 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / V Congresso de Engenharia de Moçambique. Maputo, 4-8 Setembro 2017, INEGI/FEUP, 2017, ISBN: 978-989-98832-8-4, Livro (Hbk), pp. 243-244. [Pen-Drive, artigo ref: 6875, CLME'2017, ISBN: 978-989-98832-9-1, 2017, Moçambique].

#### Webgrafia

<http://www.quoos.com.br/index.php/geografia/solos/4-triangulo-textural-solos-argila-areia-silte>

<https://www.adventureclub.com.br/blog/conheca-a-historia-e-curiosidades-da-grande-muralha-da-china/>

## ANEXOS

---



## ANEXO 1: Guião Para Entrevistas na Comunidade

No âmbito do desenvolvimento de uma dissertação para a aquisição do grau de Mestre em Engenharia Geológica pela Universidade de Évora em Portugal, está sendo realizado um estudo do solo como material de construção sustentável na Província de Maputo, Moçambique. O objectivo deste estudo é fazer um levantamento das informações sobre o tipo de solos utilizados, as técnicas de construção em terra existentes e o grau de resistência dos solos e das construções à situações extremas de temperatura, isto é, chuvas, inundações e secas. Este estudo será realizado nas localidades previamente identificadas no Distrito de Moamba, a Noroeste da Província de Maputo. O levantamento da informação nestas localidades permitirá a identificação do tipo de solo, a determinação da resistência de cada solo, identificação das técnicas construtivas locais, o potencial de utilização do solo como material de construção sustentável e permitirá a criação de cenários da evolução da construção em terra e a influência das alterações climáticas sobre as construções sobre os últimos 20 anos e como as comunidades têm se adaptado.

Secção 1: Identificação do Entrevistado	
Nome do entrevistador	
Distrito	
Posto Administrativo	
Localidade	
Vila	
Bairro	
Nome do entrevistado	
Contacto	
Género	<input type="radio"/> Homem <input type="radio"/> Mulher
Idade	
Nacionalidade	
Estado civil	<input type="radio"/> Solteiro (a) <input type="radio"/> Casado (a) <input type="radio"/> Divorciado (a) <input type="radio"/> Viúvo (a) <input type="radio"/> Outro (especificar) _____
Profissão	
Nível académico	<input type="radio"/> Sem escolaridade (Não estudou) <input type="radio"/> Ensino Primário <input type="radio"/> Ensino Secundário <input type="radio"/> Ensino Superior (universidade) <input type="radio"/> Ensino Técnico <input type="radio"/> Não responde/não sabe <input type="radio"/> Outro (especificar) _____
Com quantas pessoas vive?	

Posição no agregado familiar	<input type="radio"/> Chefe da casa <input type="radio"/> Marido / Esposa <input type="radio"/> Filho/a <input type="radio"/> Outro membro da família <input type="radio"/> Outro (especificar) _____
Há quanto tempo reside na localidade?	
Como era a localidade antes?	
Como é a localidade hoje? O que mudou?	
Quais são os eventos climáticos que mais afectam a localidade?	<input type="radio"/> Chuvas fortes <input type="radio"/> Tempestades <input type="radio"/> Inundações <input type="radio"/> Secas <input type="radio"/> Erosão <input type="radio"/> Outro (especificar) _____
Quantos eventos climáticos já afectaram a localidade?	
Em que ano aconteceu?	
Como aconteceu?	
Quais foram os impactos?	<input type="radio"/> Destruição de casas <input type="radio"/> Perda de vidas <input type="radio"/> Destruição das machambas <input type="radio"/> Perda de solos <input type="radio"/> Outro (especificar) _____
Como e o que fizeram para se erguerem?	
<b>Seção 2: Caracterização das Habitações</b>	
De quem é a casa?	<input type="radio"/> Própria <input type="radio"/> Alugada <input type="radio"/> Emprestada/ Cedida <input type="radio"/> Doado <input type="radio"/> Outro (especifique) _____
Tipo de casa (Fotografia)	
De que material de construção é feita a parede da casa?	<input type="radio"/> Pau-a-pique <input type="radio"/> Taipão <input type="radio"/> Adobe <input type="radio"/> Solos <input type="radio"/> Outros (especifique) _____
No caso do adobe, como é feito e quem faz?	
As paredes estão revestidas? Se sim, por que tipo de material?	
De que material é feita a cobertura da casa?	<input type="radio"/> Lona <input type="radio"/> Palha <input type="radio"/> Estacas <input type="radio"/> Chapas de zinco <input type="radio"/> Sacos <input type="radio"/> Plásticos <input type="radio"/> Outros (especifique) _____
Qual é o tipo de pavimento da casa?	<input type="radio"/> Cimento <input type="radio"/> Solo <input type="radio"/> Outro (especifique) _____
Quantos compartimentos tem a casa?	
Qual é o tamanho da casa?	
Quando construiu a casa?	
Quantas pessoas construíram e levaram quanto tempo?	
Onde encontraram o material utilizado na construção?	

Que técnicas de construção foram utilizadas? Explique	
Na construção misturam o solo com outro material? Se sim, qual?	
Qual é o solo que dura mais nas construções? E onde tiram esse solo?	
Teve ou tem dificuldade em encontrar solos bons/razoáveis para fazer as construções em terra?	
Quanto dinheiro gastou com a construção?	
Qual foi a última vez que renovou a casa?	
Renova de quanto em quanto tempo? Porque prefere utilizar esse material?	
Nos tempos de chuvas o que acontece com a casa?	
Nos tempos de seca o que acontece com a casa?	
Quando aquece muito o que acontece com a casa?	
Se pudesse, que melhoramentos faria na sua casa/habitação para ela resistir às chuvas / às tempestades e durar mais no tempo (longevidade)?	
Trocaria a sua casa por outra feita de blocos e cimento? Se sim, porquê?	
Quais as principais dificuldades/obstáculos/problemas em construir em terra?	
De que forma é que as está a solucionar?	
Quais são as doenças causadas pelas casas que mais vos afectam?	

## ANEXO 2: Guião de Campo

**NOTA BEM: TIRAR FOTOS DE TUDO COM COORDENADAS**

**COLHER AMOSTRAS DE SOLOS**

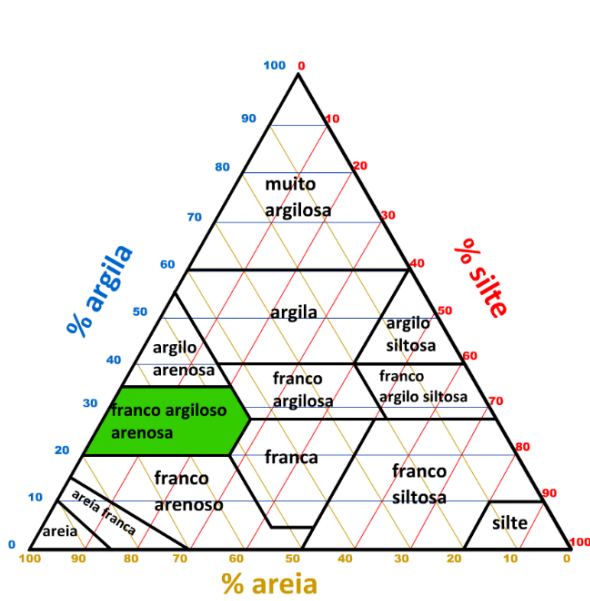
**COLHER AMOSTRAS DE ADOBES**

<b>Método de Construção das Casas</b>	
Nº de pessoas por equipa de trabalho	
Tempo médio de edificação	
Material de ligação	
Fundações	
Tipos de paredes	
Reboco	
Cobertura	

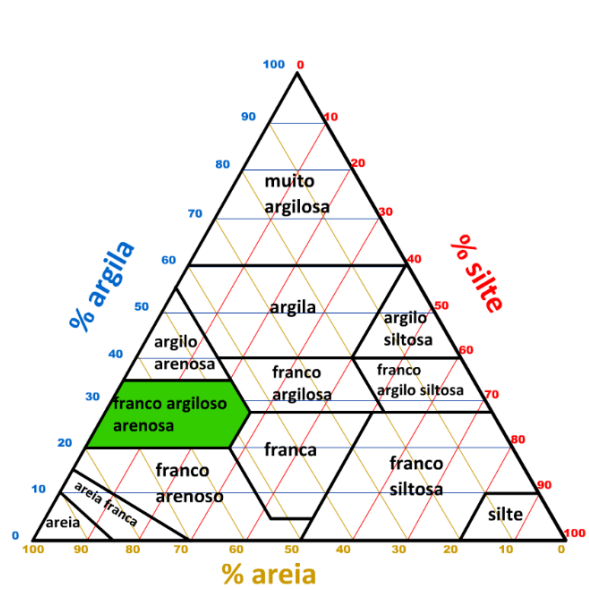
<b>Produção do Adobe</b>					
Localidade	Método de fabrico	Dimensões	Período de produção	Tempo e processo de secagem	Moldes

## ANEXO 3: Ensaios Expeditos *In Situ* – Processamento de Dados

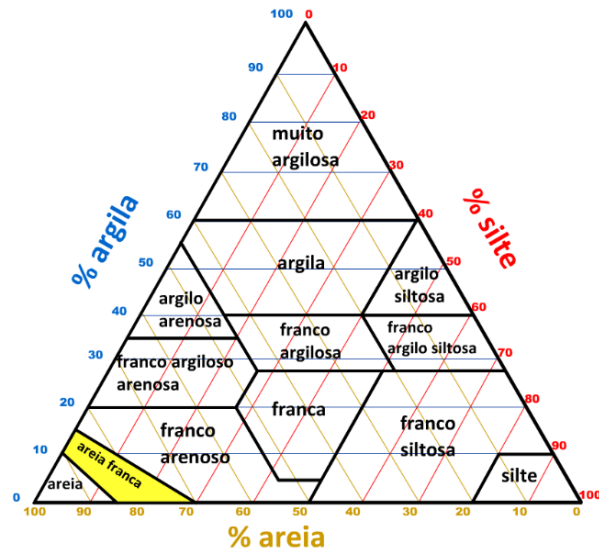
### Sedimentação de garrafa



Amostra 1



Amostra 2



Amostra 3

## ANEXO 4: Ensaios de Laboratório – Processamento de Dados

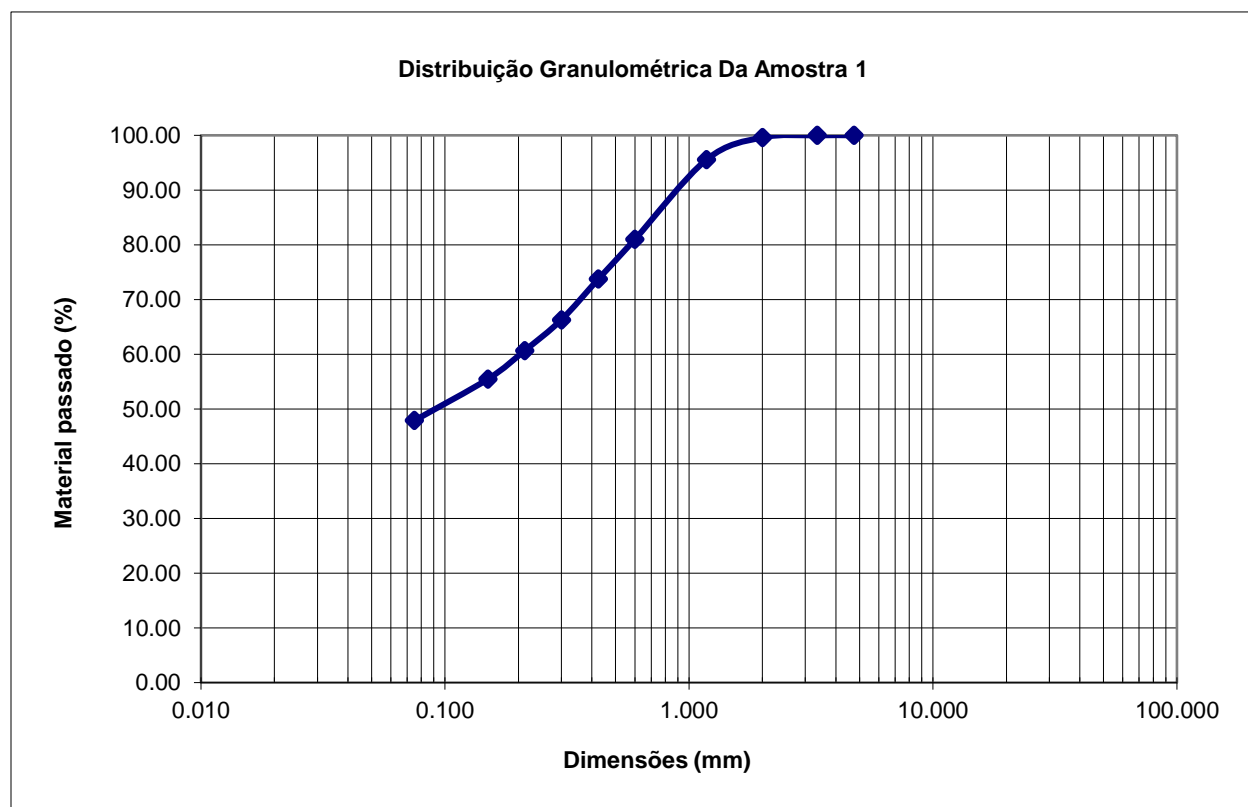
### Análise Granulométrica

Peneiração a seco

Amostra 1

**Peso inicial (g)** 100.00

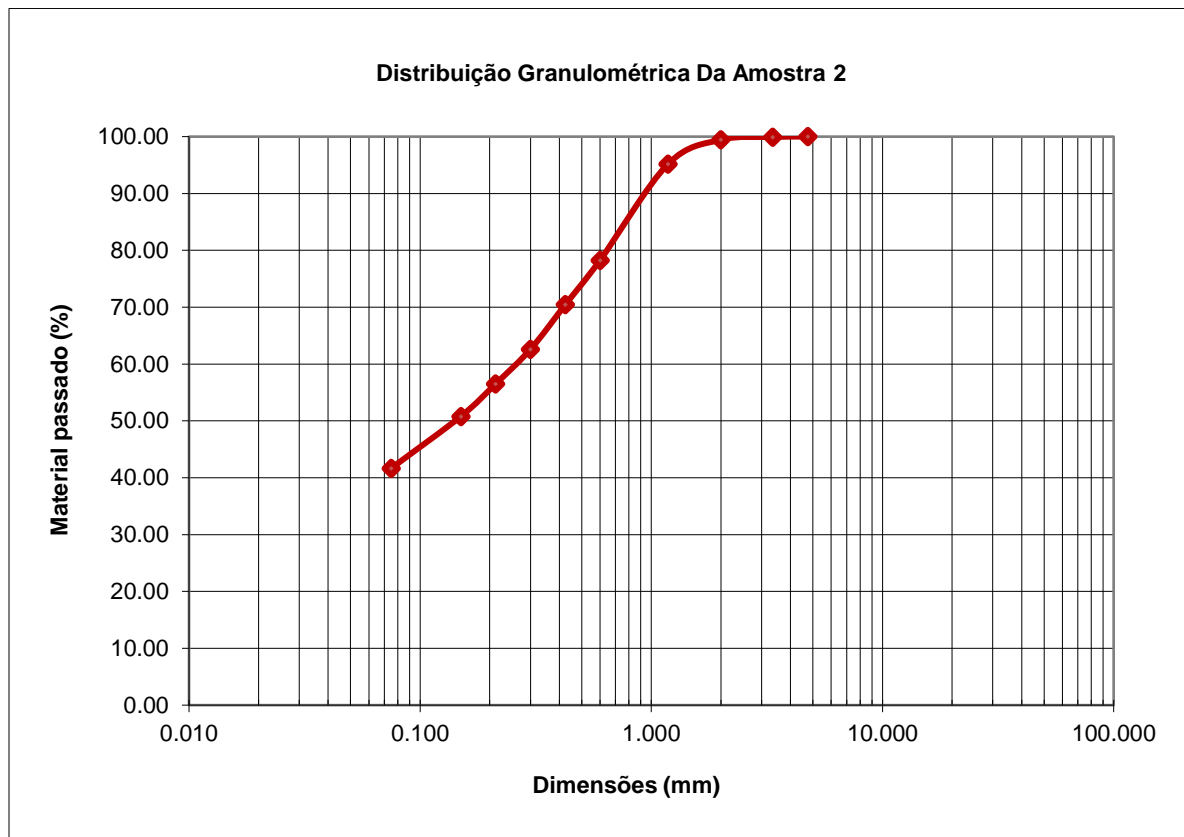
Peneiro		Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3/16	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
6	3.350	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2.000	0.39	0.39	0.39	99.61
16	1.180	4.05	4.05	4.44	95.56
30	0.600	14.58	14.58	19.02	80.98
40	0.425	7.24	7.24	26.26	73.74
50	0.300	7.44	7.44	33.70	66.30
70	0.212	5.64	5.64	39.34	60.66
100	0.150	5.19	5.19	44.53	55.47
200	0.075	7.58	7.58	52.11	47.89
Fundo		0.17	0.17	52.28	47.72



Amostra 2

**Peso inicial (g)** 100.00

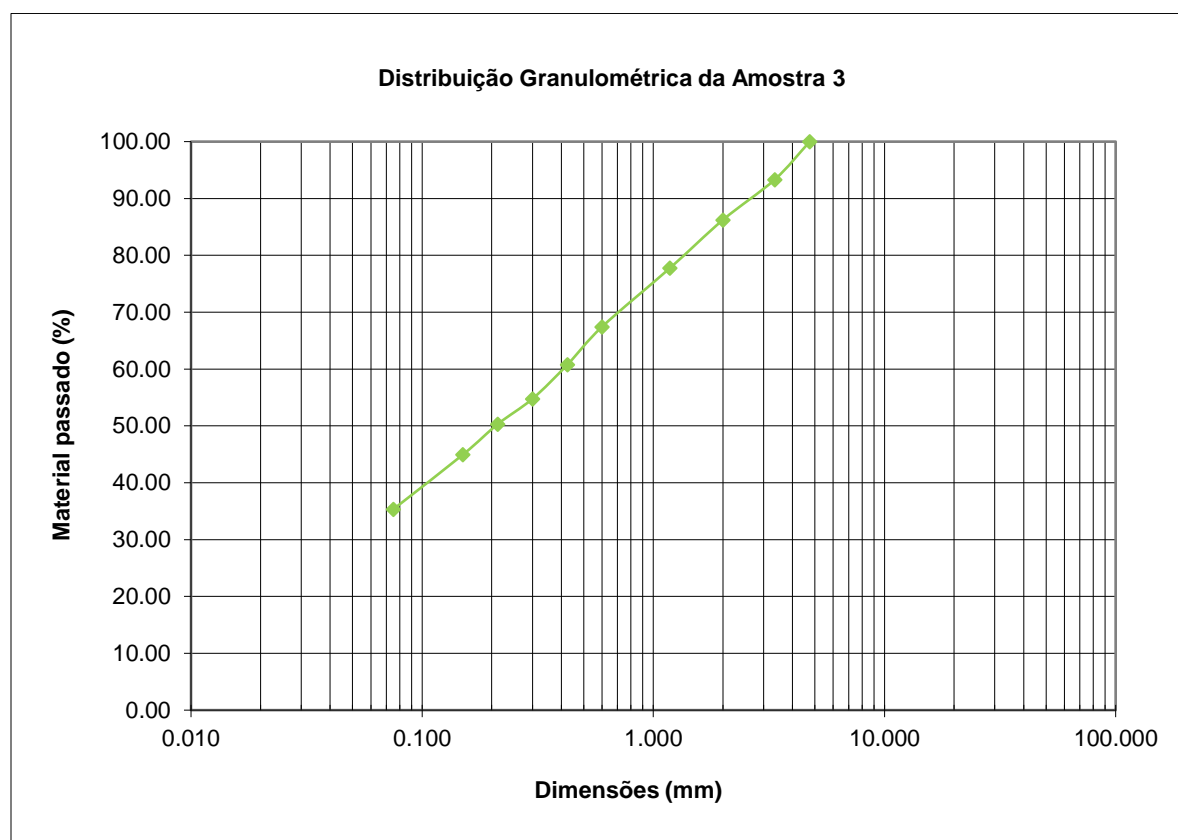
Peneiro		Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3/16	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
6	3.350	0.06	0.06	0.06	99.94
10	2.000	0.49	0.49	0.55	99.45
16	1.180	4.28	4.28	4.83	95.17
30	0.600	16.91	16.91	21.74	78.26
40	0.425	7.79	7.79	29.53	70.47
50	0.300	7.88	7.88	37.41	62.59
70	0.212	6.09	6.09	43.50	56.50
100	0.150	5.70	5.70	49.20	50.80
200	0.075	9.12	9.12	58.32	41.68
Fundo		0.28	0.28	58.60	41.40



Amostra 3

**Peso inicial (g)** 100.00

Peneiro		Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3/16	4.750	0.00	0.00	0.00	100
6	3.350	1.32	1.32	1.32	93.32
10	2.000	4.34	4.34	5.66	86.23
16	1.180	4.45	4.45	10.11	77.76
30	0.600	7.62	7.62	17.73	67.43
40	0.425	4.13	4.13	21.86	60.78
50	0.300	4.94	4.94	26.80	54.76
70	0.212	4.86	4.86	31.66	50.29
100	0.150	6.85	6.85	38.51	44.94
200	0.075	12.99	12.99	51.50	35.33
Fundo		0.39	0.39	51.89	30.33





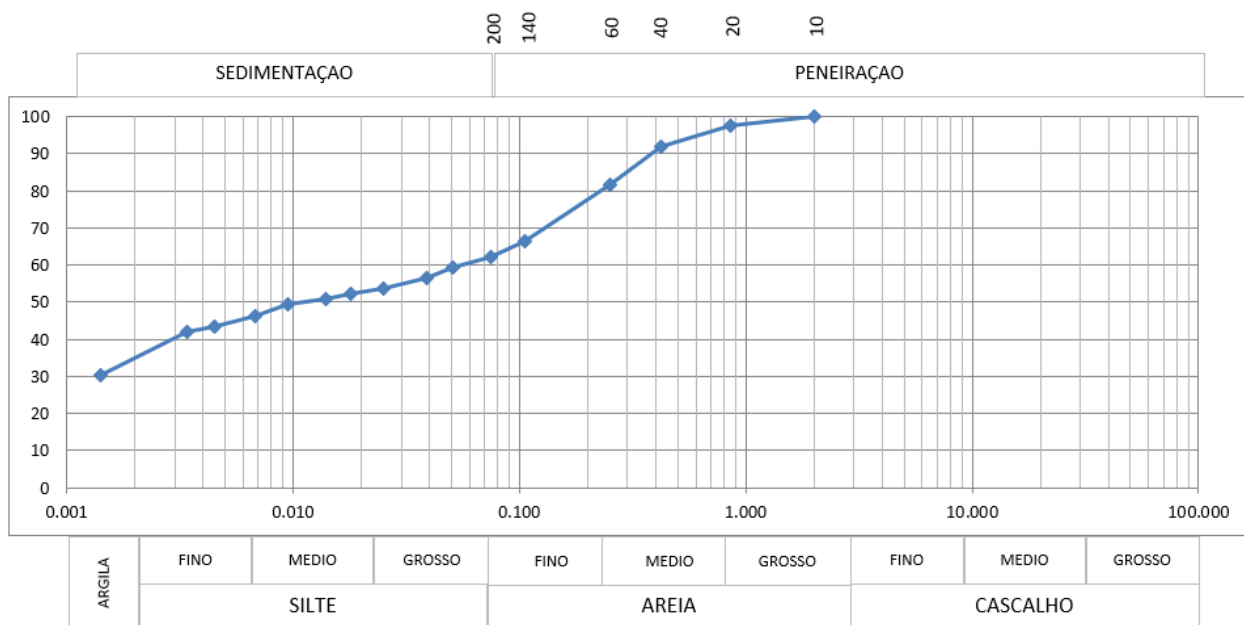
## Sedimentação

### Amostra 1

PENEIROS		P. Retido (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passada
Nº	Diâmetro dos grãos (mm)				
10.00	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
20.00	0.85	1.39	2.43	2.43	97.57
40.00	0.42	3.20	5.59	8.02	91.98
60.00	0.25	6.00	10.49	18.51	81.49
140.00	0.11	8.62	15.07	33.58	66.42
200.00	0.08	2.36	4.13	37.71	62.29

Determinação da Humidade	
Massa inicial (g)	60
Solo + Tara + Água (g)	55.63
Solo + Tara (g)	54.51
Tara (g)	31.61
Água (g)	1.12
Solo Seco (g)	22.9
Grau de Humidade (%)	4.89
Densidade das partículas	2.52
Peso seco	57.20

Sedimentação						
H + Minutos	Leituras	Temperatura °C	Correcção pela temperatura	Leitura corrigida LC	Diâmetro dos grãos mm	% da amostra com diâmetro menor
1	23	22	2.5	20.5	0.051	59.42
2	22	22	2.5	19.5	0.039	56.52
4	21	22	2.5	18.5	0.025	53.62
8	20.5	22	2.5	18	0.018	52.17
15	20	22	2.5	17.5	0.014	50.72
30	19.5	22	2.5	17	0.0095	49.27
60	18.5	22	2.5	16	0.0068	46.37
120	17.5	22	2.5	15	0.0045	43.47
240	17	22	2.5	14.5	0.0034	42.03
1440	13	22	2.5	10.5	0.0014	30.43

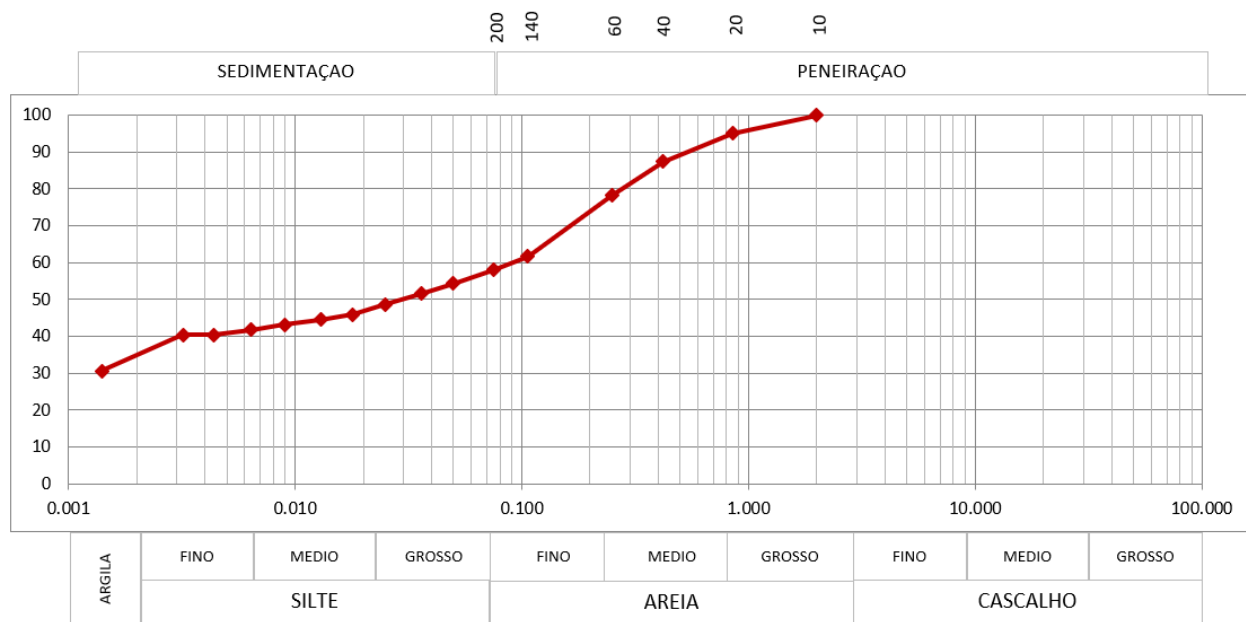


### Amostra 2

PENEIROS		P. Retido (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passada
Nº	Diâmetro dos grãos(mm)				
10.00	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
20.00	0.85	2.89	4.99	4.99	95.01
40.00	0.42	4.38	7.56	12.55	87.45
60.00	0.25	5.35	9.23	21.78	78.22
140.00	0.11	9.58	16.53	38.31	61.69
200.00	0.08	2.12	3.66	41.97	58.03

Determinação da Humidade	
Massa inicial (g)	57.94
Solo + Tara + Água (g)	58.73
Solo + Tara (g)	57.87
Tara (g)	33.65
Água (g)	0.86
Solo Seco (g)	24.22
Grau de Humidade (%)	3.55
Densidade das partículas	2.50
Peso seco	55.95

<b>Sedimentação</b>						
H + Minutos	Leituras	Temperatura °C	Correcção pela temperatura	Leitura corrigida	Diâmetro dos grãos mm	% da amostra com diâmetro menor
1	22	22	2.5	19.5	0.05	56.23
2	21	22	2.5	18.5	0.036	53.35
4	20	22	2.5	17.5	0.025	50.46
8	19	22	2.5	16.5	0.018	47.58
15	18.5	22	2.5	16	0.013	46.14
30	18	22	2.5	15.5	0.009	44.70
60	17.5	22	2.5	15	0.0064	43.25
120	17	22	2.5	14.5	0.0044	41.81
240	17	22	2.5	14.5	0.0032	41.81
1440	13.5	22	2.5	11	0.0014	31.72



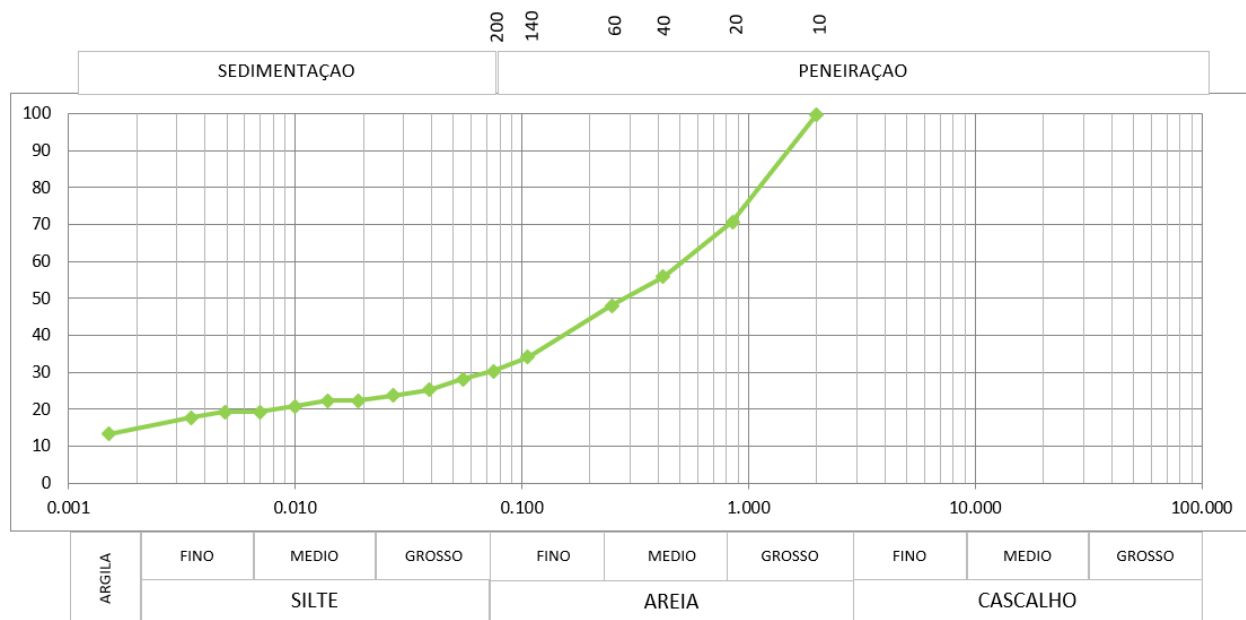
### Amostra 3

<b>PENEIROS</b>		P. Retido (g)	% Retida	% Retida acumulada	% Passada
Nº	Diâmetro dos Grãos (mm)				
10.00	2.00	0.17	0.28	0.28	99.72
20.00	0.85	16.46	29.33	29.33	70.67
40.00	0.42	8.32	14.82	44.15	55.85

60.00	0.25	4.35	7.75	51.90	48.10
140.00	0.11	7.87	14.02	65.92	34.08
200.00	0.08	2.12	3.78	69.70	30.30

<b>Determinação da Humidade</b>	
Massa inicial (g)	60
Solo + Tara + Água (g)	52.07
Solo + Tara (g)	50.76
Tara (g)	31.77
Água (g)	1.31
Solo Seco (g)	18.99
Grau de Humidade (%)	6.90
Densidade das partículas	2.62
Peso seco	56.13

<b>Sedimentação</b>						
<b>H + Minutos</b>	<b>Leituras</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Correcção pela temperatura</b>	<b>Leitura corrigida</b>	<b>Diâmetro dos grãos mm</b>	<b>% da amostra com diâmetro menor</b>
1	12	22	2.5	9.5	0.055	28.21
2	11	22	2.5	8.5	0.039	25.24
4	10.5	22	2.5	8	0.027	23.76
8	10	22	2.5	7.5	0.019	22.27
15	10	22	2.5	7.5	0.014	22.27
30	9.5	22	2.5	7	0.01	20.79
60	9	22	2.5	6.5	0.007	19.30
120	9	22	2.5	6.5	0.0049	19.30
240	8.5	22	2.5	6	0.0035	17.82
1440	7	22	2.5	4.5	0.0015	13.36



## Determinação da densidade das partículas

### Amostra 1

Número do Picnómetro		1	2
B	Picnómetro + água destilada (g)	110.02	105.26
C	Picnómetro + provete + água destilada (g)	128	123.4
	Cápsula N°	1	2
	Peso da cápsula (g)	100.64	105.02
	Proвете seco + cápsula	130.56	135.02
A	Proвете seco (g)	29.92	30
	Temperatura do ensaio (oC)	22	22
	Peso específico da água	1	1
	Densidade das partículas	2.51	2.53
<b>G</b>		<b>2.52</b>	

### Amostra 2

Número do Picnómetro		3	4
B	Picnómetro + água destilada (g)	111.97	111.19
C	Picnómetro + provete + água destilada (g)	129.67	129.38
	Cápsula N°	3	4
	Peso da cápsula (g)	135.88	135.78
	Proвете seco + cápsula	165.79	165.69

Número do Picnómetro		3	4
A	Proвете seco (g)	29.91	29.91
	Temperatura do ensaio (oC)	22	22
	Peso específico da água	1	1
	Densidade das partículas	2.45	2.55
<b>G</b>		<b>2.50</b>	

### Amostra 3

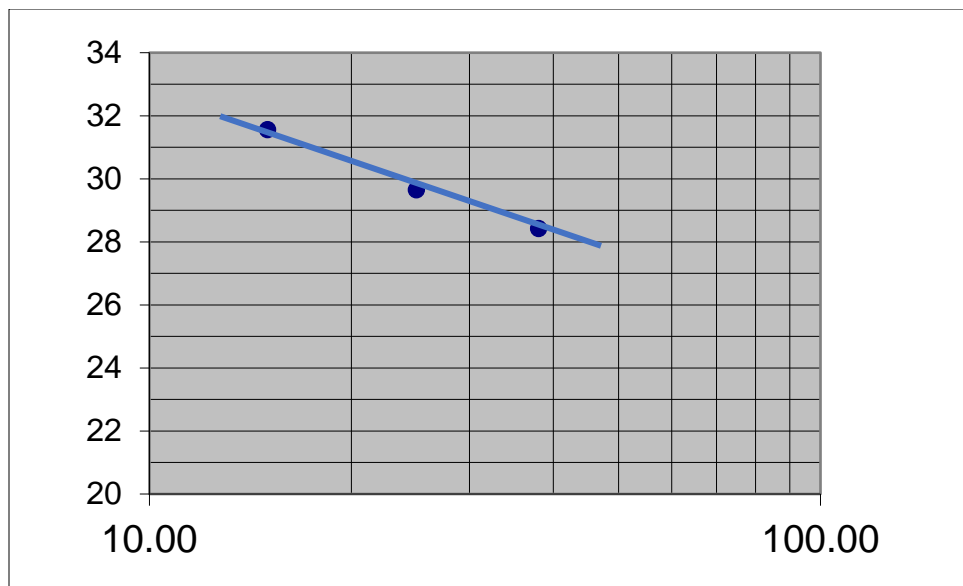
Número do Picnómetro		5	6
B	Picnómetro + água destilada (g)	103.08	111.58
C	Picnómetro + provete + água destilada (g)	121.33	129.71
	Cápsula N°	5	6
	Peso da cápsula (g)	142.32	135.85
	Proвете seco + cápsula	171.77	165.19
A	Proвете seco (g)	29.45	29.34
	Temperatura do ensaio (oC)	22	22
	Peso específico da água	1	1
	Densidade das partículas	2.63	2.62
<b>G</b>		<b>2.62</b>	

## Limites de consistência

### Limites de liquidez

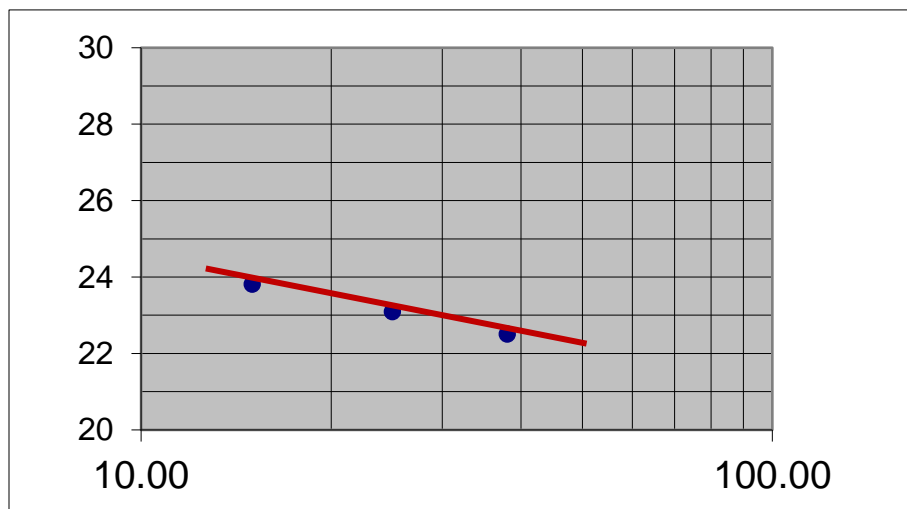
#### Amostra 1

Cápsula N°	Tx58	F74	30
Peso da capsula (g)	13.21	15.17	13.92
Solo húmido + cap.(g)	25.34	29.47	25.35
Solo seco + cap.(g)	22.43	26.20	22.82
Peso da água (g)	2.91	3.27	2.53
Teor de água (%)	31.6	29.6	28.4
N° de golpes	15	25	38



Amostra 2

Cápsula Nº	F74	30	Tx58
Peso da capsula (g)	15.17	13.92	13.21
Solo húmido + cap.(g)	28.01	27.83	24.53
Solo seco + cap.(g)	25.54	25.22	22.45
Peso da água (g)	2.47	2.61	2.08
Teor de água (%)	23.8	23.1	22.5
Nº de golpes	15	25	38



### Limites de plasticidade

#### Amostra 1

<b>Cápsula N°</b>	<b>A19</b>	<b>19</b>	<b>Tx8</b>
Peso da capsula (g)	13.55	13.49	14.37
Solo húmido + cap.(g)	22.42	22.65	24.65
Solo seco + cap.(g)	21.05	21.23	23.05
Peso da água (g)	1.37	1.42	1.60
Teor de água(%)	18.3	18.3	18.4
LP (%)	18.3		

#### Amostra 2

<b>Cápsula N°</b>	<b>Tx8</b>	<b>A19</b>	<b>19</b>
Peso da capsula (g)	14.37	13.55	13.49
Solo húmido + cap.(g)	23.51	23.82	25.40
Solo seco + cap.(g)	22.33	22.50	23.87
Peso da água (g)	1.18	1.32	1.53
Teor de água(%)	14.8	14.7	14.7
LP (%)	14.8		

### Índice de Plasticidade

#### Amostra 1

<b>IP (%)</b>	<b>LL = 29.65</b>
	<b>LP = 18.35</b>
	<b>IP = 11.3</b>

#### Amostra 2

<b>IP (%)</b>	<b>LL = 22.5</b>
	<b>LP = 14.77</b>
	<b>IP = 7.73</b>



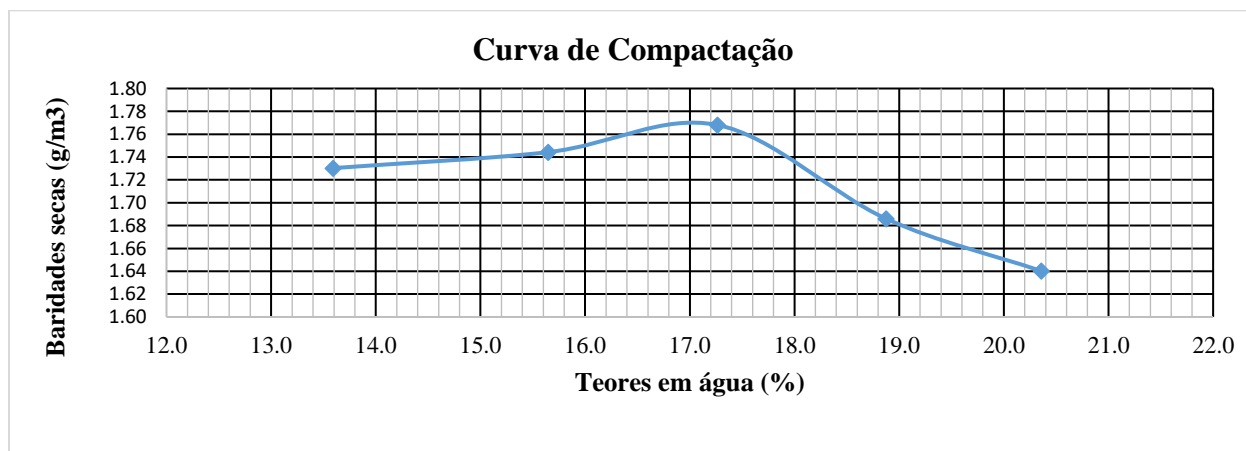
## Ensaio de compactação do tipo proctor

### Amostra 1

COMPACTAÇÃO DE PROVETES						
NÚMERO DE PROVETES	Deter.	1	2	3	4	5
Peso do solo seco ao ar	(g)	6000	6000	6000	6000	6000
Água misturada	(%)	240	360	480	600	720
Volume do molde	(cm <sup>3</sup> )	2320	2320	2320	2320	2320
Massa do molde	(g)	4720	4720	4720	4720	4720
Massa do molde + solo húmido	(g)	9280	9400	9530	9370	9300
Massa do solo húmido	(g)	4560	4680	4810	4650	4580
Baridade húmida	(g/cm <sup>3</sup> )	1.97	2.02	2.07	2.00	1.97
Baridade seca	(g/m <sup>3</sup> )	<b>1.73</b>	<b>1.74</b>	<b>1.77</b>	<b>1.69</b>	<b>1.64</b>

TEORES EM ÁGUA						
NÚMERO DA CAPSULA		A4	A12	A11	A18	A20
Mssa do tabuleiro	(g)	14.40	14.01	13.64	22.49	22.16
Massa Tabuleiro + Solo húmido	(g)	78.58	74.91	71.99	79.30	94.46
Massa Tabuleiro + Solo seco	(g)	70.90	66.67	63.40	70.28	82.23
Massa da água	(g)	7.68	8.24	8.59	9.02	12.23
Massa do solo seco	(g)	56.50	52.66	49.76	47.79	60.07
Teor em água	(%)	<b>13.6</b>	<b>15.6</b>	<b>17.3</b>	<b>18.9</b>	<b>20.4</b>

<b>BARIDADE SECA MÁXIMA (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.77</b>
<b>TEOR EM ÁGUA ÓPTIMO (%)</b>	<b>17.2</b>



Amostra 3

COMPACTAÇÃO DE PROVETES						
NÚMERO DE PROVETES	Deter.	1	2	3	4	5
Peso do solo seco ao ar	(g)	6000	6000	6000	6000	6000
Água misturada	(%)	240	360	480	600	720
Volume do molde	(cm <sup>3</sup> )	2350	2350	2350	2350	2350
Massa do molde	(g)	4880	4880	4880	4880	4880
Massa do molde + solo húmido	(g)	9260	9670	9780	9690	9550
Massa do solo húmido	(g)	4380	4790	4900	4810	4670
Baridade húmida	(g/cm <sup>3</sup> )	1.86	2.04	2.09	2.05	1.99
Baridade seca	(g/m <sup>3</sup> )	<b>1.73</b>	<b>1.86</b>	<b>1.87</b>	<b>1.80</b>	<b>1.73</b>

TEORES EM ÁGUA						
NÚMERO DA CAPSULA		A4	A12	A11	A18	A20
Mssa do tabuleiro	(g)	22.94	30.44	23.31	22.79	22.14
Massa Tabuleiro + Solo húmido	(g)	86.07	119.04	86.80	92.69	78.30
Massa Tabuleiro + Solo seco	(g)	81.55	111.26	80.22	84.34	71.06
Massa da água	(g)	4.52	7.78	6.58	8.35	7.24
Massa do solo seco	(g)	58.61	80.82	56.91	61.55	48.92
Teor em água	(%)	<b>7.7</b>	<b>9.6</b>	<b>11.6</b>	<b>13.6</b>	<b>14.8</b>

<b>BARIDADE SECA MÁXIMA (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.87</b>
<b>TEOR EM ÁGUA ÓPTIMO (%)</b>	<b>11.6</b>

