



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Juliana Ferreira Nina

**Durabilidade da Construção em Terra – Contributo  
para uma melhor aceitação deste material  
sustentável**

março de 2022



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Juliana Ferreira Nina

**Durabilidade da Construção em Terra – Contributo  
para uma melhor aceitação deste material  
sustentável**

Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Professora Doutora Rute Maria Gonçalves Eires**

março de 2022

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

*Licença concedida aos utilizadores deste trabalho*



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que conferiu a mim a oportunidade de me aperfeiçoar, desenvolver habilidades, e adquirir conhecimento, que segundo a sabedoria de Seus propósitos, serão muito úteis em momento oportuno breve.

Aos meus amados pais, meus grandes amigos, que me orientam e me apoiam nas minhas escolhas, mesmo à - difícil - distância, obrigada por tudo e muito mais!

À minha orientadora e professora Rute Eires, que pacientemente transmitiu a mim todo seu conhecimento no assunto que se refere esta dissertação, me encorajando a expandir os horizontes e a lançar um novo e otimista olhar sobre a arquitetura.

Aos técnicos dos laboratórios de geotecnia e de materiais do Departamento de Engenharia Civil da universidade, pelo acolhimento, pela paciência e todo suporte com que me auxiliaram durante cada processo do trabalho prático.

A todos os funcionários da Universidade, que frequentemente nos tratam com gentileza e compreensão.

Aos novos amigos que fiz dentro e fora da sala de aula, pela companhia e apoio emocional, assim como a todos os colegas, por toda troca de experiência.

Aos meus familiares e amigos no Brasil e na Irlanda, que acreditam em mim, e enviam-me doses de ânimo para seguir em frete!

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

Há algum tempo o mundo vem passando por mudanças, sobretudo quando tange à construção, que imediata a necessidade de mudança de postura e tomada de decisão que caminhem em prol de soluções que mitiguem os problemas causados ao meio ambiente, a necessidade de soluções construtivas mais eficazes e saudáveis sem ter o custo superestimado.

Mediante este quadro, neste estudo realizou-se um inquérito para averiguar a popularidade e o conhecimento dos profissionais da área da construção sobre técnicas e materiais construtivos sustentáveis; saber o quanto eles estão abertos para a mudança no método de trabalho e se já percebem a urgência nisso. Assim como o seu conhecimento e uso sobre a construção em terra, um dos meios construtivos mais antigos e populares do mundo, mas, no entanto, ainda é alvo de muito preconceito por desconhecimento e perda do saber fazer ancestral.

No sentido de comprovar a durabilidade da construção em terra, apresentam-se as características e os principais benefícios da construção em terra e foi desenvolvido um estudo laboratorial para avaliação da durabilidade da construção em terra recorrendo à preparação e avaliação do desempenho de amostras de elementos construtivos em terra das técnicas mais utilizadas, a taipa e o bloco de terra comprimida, BTC. Tendo sido analisados diferentes tipos de materiais ligantes para estabilização do solo e diferentes tipos de acabamento. Este desempenho foi avaliado recorrendo principalmente a um ensaio acelerado de erosão, simulando a chuva e períodos de secagem, avaliando-se também a perda de resistência após o ensaio.

Pelos resultados obtidos no inquérito observou-se que ainda predomina o desconhecimento sobre a construção em terra e outros materiais de construção tradicionais e sustentáveis. Com o estudo laboratorial verificou-se que a construção em terra pode ser durável, seja recorrendo a uma pequena percentagem de material estabilizante, seja recorrendo a uma argamassa de recobrimento.

## PALAVRAS-CHAVE

Arquitetura, BTC, construção em terra, sustentabilidade, taipa.

## ABSTRACT

For some time now the world has been going through changes, especially when it comes to construction, which immediate need for attitude changes and decision making that move towards solutions that mitigate the problems caused to the environment, the need for more effective and healthy building solutions without having the cost overestimated.

Against this background, this study carried out a survey to find out the popularity and knowledge of professionals in the construction field about sustainable building techniques and materials, to find out if they are open to change their work method and if they already realize the urgency of it. As well as their knowledge and use of earth construction, one of the oldest and most popular construction methods in the world, but, nevertheless, still the target of much prejudice due to ignorance and loss of ancestral know-how.

In order to prove the durability of earth construction, the characteristics and main benefits of earth construction are presented and a laboratory study was developed to evaluate the durability of earth construction through the preparation and performance evaluation of samples of earth construction elements of the most used techniques, the rammed earth block and the compressed earth block. Different types of binder materials for soil stabilization and different types of finishing were analyzed. This performance was evaluated using mainly an accelerated erosion test, simulating rain and drying periods, evaluating also the loss of resistance after the test.

From the results obtained in the survey it was observed that there is still a predominant lack of knowledge about earth construction and other traditional and sustainable building materials. The laboratory study showed that earth construction can be durable, either by using a small percentage of stabilizing material or by using a covering mortar.

## KEYWORDS

Architecture, CEB, earth construction, rammed earth, sustainability.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xii
<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e metodologia.....	1
1.3 Organização da dissertação.....	2
<b>2. A construção em terra.....</b>	<b>3</b>
2.1 Histórico.....	3
2.2 Técnicas construtivas em terra.....	6
2.2.1 Taipa: uma técnica construtiva tradicional.....	7
2.2.2 A taipa mecanizada.....	11
2.2.3 BTC: uma técnica construtiva contemporânea.....	13
2.2.4 O BTC em prensa hidráulica.....	15
2.3 A terra como material de construção e suas propriedades.....	16
2.3.1 Desvantagens.....	16
2.3.2 Vantagens.....	17
2.4 Benefícios para a saúde.....	18
2.4.1 Propriedade higratérmica.....	18
2.4.2 Propriedade acústica.....	20
2.4.3 Ausência de liberação de compostos orgânicos voláteis.....	20
2.4.4 Menor emissão de radioatividade em relação a outros materiais de construção.....	20
2.5 Preconceito associado à construção em terra.....	21
2.6 Detalhes de projeto e influências do processo construtivo na arquitetura.....	24
2.7.1 Durabilidade aos ciclos de molhagem e secagem.....	25
2.7.2 Durabilidade à compressão.....	25
<b>3 Avaliação do interesse pela construção em terra e outros materiais sustentáveis.....</b>	<b>26</b>
3.1 Introdução.....	26
3.2 Apresentação do inquérito.....	27
3.3 Análise dos resultados obtidos.....	33
3.3.1 Considerações.....	42
<b>4 Avaliação da durabilidade da construção em terra.....</b>	<b>43</b>
4.1 Introdução.....	43
4.2 Materiais utilizados.....	43
4.2.1 Solo.....	43
4.2.1.1 Ensaio de campo.....	44
4.2.1.2 Ensaio em laboratório.....	50
4.2.2 Agregados.....	57
4.2.2.1 Brita.....	57
4.2.2.2 Caulino.....	57
4.2.3 Materiais ligantes.....	57



4.2.3.1	Cimento.....	57
4.2.3.2	Cal hidratada.....	58
4.2.3.3	Cal viva.....	58
4.2.4	Outros materiais.....	59
4.2.4.1	Silicato de sódio.....	59
4.2.4.2	Hidróxido de sódio.....	59
4.2.4.3	Borato de sódio.....	60
4.2.4.4	Cera de abelha.....	60
4.2.4.5	Sabão de azeite.....	60
4.2.4.6	<i>Aloe vera</i> .....	60
4.2.4.7	Óleo de linhaça.....	61
4.2.4.8	Óleo vegetal usado.....	61
4.2.4.9	Terebentina (aguarrás).....	61
4.2.4.10	Resina de pinheiro ou colofónia.....	62
4.2.4.11	Pigmentos.....	62
4.2.4.12	Fibras.....	62
4.3	Composições testadas e produção de provetes.....	63
4.3.1	Introdução.....	63
4.3.2	BTC.....	63
4.3.3	Taipa.....	67
4.3.4	Revestimentos.....	70
4.3.4.1	Argamassa de assentamento.....	70
4.3.4.2	Argamassas de acabamento.....	72
4.3.4.3	Pinturas.....	73
4.4	Ensaio realizados.....	77
4.4.1	Avaliação visual e dimensional.....	78
4.4.2	Erosão acelerada por jato de água – simulação de chuva.....	78
4.4.3	Análise de ultrassom.....	81
4.4.4	Ensaio de resistência mecânica à compressão.....	84
4.5	Análise dos resultados dos ensaios.....	86
4.5.1	Avaliação visual e dimensional.....	86
4.5.2	Erosão acelerada por jato de água.....	96
4.5.3	Análise de ultrassom.....	100
4.5.4	Resistência mecânica à compressão.....	103
4.6	Relação entre os resultados da análise de ultrassom e da resistência à compressão.....	106
4.7	Comparação com resultados de outros autores.....	109
4.7.1	Ensaio de erosão acelerada por jato de água.....	109
4.7.2	Ensaio de resistência mecânica à compressão.....	109
<b>5</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>111</b>
5.1	Avaliação do interesse pela construção em terra e outros materiais sustentáveis.....	111
5.2	Avaliação da durabilidade da construção em terra.....	111
5.3	Conclusão geral.....	112
5.4	Trabalhos futuros.....	112
	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>114</b>
	<b>Anexo I – Tabelas e gráficos dos ensaios em laboratório.....</b>	<b>116</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Cidade de Ouarzazate no Vale de Draa, Marrocos .....	3
Figura 2.2 - Construções de adobe na cidade de Shibam, no Iémen .....	4
Figura 2.3 - Centro histórico de Rennes, França .....	4
Figura 2.4 - Edifício mais alto da Europa construído em taipa.....	5
Figura 2.5 - Diagrama criado pelo CRAterre .....	6
Figura 2.6 - Construção de parede em taipa de compactação manual, e taipal de madeira. ....	8
Figura 2.7 - Taipal e pilão.....	9
Figura 2.8 - Tipos de compactadores .....	9
Figura 2.9 – Castelo de Silves, Algarve .....	10
Figura 2.10 – Casa do Sítio do Padre Inácio.....	11
Figura 2.11 – Construções contemporâneas com técnica de taipa.....	12
Figura 2.12 – Narbo Via History Museum, França .....	12
Figura 2.13 - Brinton Museum, Big Horn, Wyoming US .....	13
Figura 2.14 - Alguns exemplos da variedade de BTC .....	14
Figura 2.15 – Execução de BTC com prensa “Cinva-ram” .....	14
Figura 2.16 - Construção de alvenaria com uso de BTC, Alentejo.....	15
Figura 2.17 - Prensa hidráulica fixa para fabricação de BTC .....	16
Figura 2.18 - Amostras de absorção de diferentes materiais.....	19
Figura 2.19 - Obras arquitetônicas do arquiteto Francis Kéré pelo mundo.....	23
Figura 2.20 - Exemplo de detalhe de instalação elétrica embutida.....	24
Figura 3.1 - Introdução do inquérito.....	27
Figura 3.2 – Parte 1 do inquérito: Localização e identificação dos participantes.....	28
Figura 3.3 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 5 e 6).....	29
Figura 3.4 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 7, 8 e 9) .....	30
Figura 3.5 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 10, 11, 12 e 13).....	31
Figura 3.6 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 14 e 15) .....	32
Figura 3.7 - Parte 3 do inquérito: forma de participação do inquérito .....	32
Figura 3.8 – Localização e quantitativo dos participantes do inquérito.....	33
Figura 3.9 – Formação dos participantes.....	33
Figura 3.10 - Nível de escolaridade dos participantes .....	34
Figura 3.11 - Análise percentual da atuação profissional dos participantes.....	34
Figura 3.12 - Motivações para escolha de uma determinada técnica construtiva .....	35
Figura 3.13 - Motivação para a tomada de decisão de um cliente .....	35
Figura 3.14 - Frequência de utilização de materiais na reabilitação de edifícios.....	36
Figura 3.15 - Importância da conduta sustentável na construção .....	37
Figura 3.16 - Frequência de pesquisa sobre alternativas sustentáveis na construção .....	37
Figura 3.17 - Frequência de abordagem ao cliente com soluções e alternativas sustentáveis.....	38
Figura 3.18 - Grau de aceitação dos clientes às alternativas sustentáveis.....	38
Figura 3.19 - Conhecimento de técnicas e materiais construtivos.....	39
Figura 3.20 - Adesão a técnicas sustentáveis mediante recursos e mão de obra especializada .....	40
Figura 3.21 - Principais fatores que dificultam o emprego de técnicas construtivas sustentáveis.....	40
Figura 3.22 – Principais fatores que facilitariam a opção por soluções sustentáveis.....	41
Figura 3.23 - Veículo de acesso ao inquérito.....	41
Figura 4.1 - Solo utilizado nos estudos em laboratório .....	45

Figura 4.2 – Testes de rolo em laboratório .....	46
Figura 4.3 – Teste de rolo do solo com 8% de caulino .....	46
Figura 4.4 – Ensaio de sedimentação simples .....	48
Figura 4.5 – Ensaio de sedimentação simples do solo estudado.....	48
Figura 4.6 - Análise do solo por sedimentação simples durante as 3 primeiras horas .....	49
Figura 4.7 – Análise do solo por sedimentação simples após 24h de repouso .....	49
Figura 4.8 - Teste de queda da bola.....	50
Figura 4.9 – Cápsula com solo estudado para medição de teor de água .....	50
Figura 4.10 - Adição de caulino ao solo .....	51
Figura 4.11 - Solo no repartidor .....	51
Figura 4.12 - Procedimentos do ensaio de granulometria por sedimentação .....	52
Figura 4.13 - Ensaio de limites de consistência .....	53
Figura 4.14 – Curva da relação entre o teor de umidade e o número de golpes.....	53
Figura 4.15 - Comparativo granulométrico do solo com 5% caulino .....	55
Figura 4.16 - Imagens do processo de ensaio de granulometria por sedimentação .....	55
Figura 4.17 – Comparativo granulométrico do solo com 8% de caulino .....	56
Figura 4.18 - Características e desempenho técnico da cal hidratada.....	58
Figura 4.19 - Características e desempenho técnico da cal viva .....	59
Figura 4.20 - Preparo do solo com adição de caulino .....	63
Figura 4.21 – Ponto ideal de hidratação do solo verificado pelo teste de queda de bola.....	64
Figura 4.22 - Composição dos solos para BTC .....	64
Figura 4.23 - Prensa manual utilizada na fabricação do BTC .....	65
Figura 4.24 - Hidratação da cal viva com o solo em camadas .....	66
Figura 4.25 - BTCs prontos colocados para curar .....	67
Figura 4.26 - Composição de solo para provetes de taipa.....	67
Figura 4.27 - Organograma de produção de provetes de taipa.....	68
Figura 4.28 – Materiais utilizados na compactação .....	69
Figura 4.29 - Forma preenchida com solo compactado .....	69
Figura 4.30 - Provetes de taipa com manchas de mofo durante e após período de cura .....	70
Figura 4.31 - Mapa de aplicação de argamassa entre BTCs .....	71
Figura 4.32 - Argamassas de assentamento em BTC.....	71
Figura 4.33 - Mapa de aplicação de argamassa e acabamentos sobre provetes de taipa .....	72
Figura 4.34 – Ensaio de espalhamento e aplicação de argamassa com fibra em provete de taipa .....	73
Figura 4.35 – Pintura com óleo vegetal sobre argamassa com fibras .....	74
Figura 4.36 - Pintura tinta cal com babosa .....	75
Figura 4.37 - Provetes de taipa pintados com a tinta de cal hidratada com silicato .....	75
Figura 4.38 - Preparo e aplicação do verniz sobre os provetes.....	76
Figura 4.39 - Aplicação da técnica de ensaboamento .....	77
Figura 4.40 – Polimento com pedra sobre provete de taipa com areia fina e com sabão .....	77
Figura 4.41 – Paquímetro.....	78
Figura 4.42 - Equipamento simulador de chuvas (medidas em mm) .....	79
Figura 4.43 – Relação de distância (dm) de saída do jato e a área impactada .....	79
Figura 4.44 - Ensaio de provetes de diferentes tipologias.....	80
Figura 4.45 - Modos de propagação das ondas ultrassônicas .....	82
Figura 4.46 - Equipamento medidor, transdutores e medição de provete .....	82
Figura 4.47 - Ajustes do medidor de ultrassom.....	83
Figura 4.48 - Pontos de referência de medição de ultrassom em cada tipologia de provete .....	83
Figura 4.49 - Equipamento compressor usado e BTC ensaiado .....	85

Figura 4.50 - Gráfico de relação de perda total de massa entre BTCs após ciclos .....	97
Figura 4.51 - Gráfico de variação de massa entre 1° e 3° ciclos dos provetes de taipa .....	99
Figura 4.52 – Relação de velocidade média de transmissão de BTCs entre 1° e 2° ciclos .....	101
Figura 4.53 – Comparação da variação média de velocidade de transmissão entre BTCs.....	101
Figura 4.54 - Velocidade média de transmissão em provetes de taipa entre 1° e 2° ciclos.....	102
Figura 4.55 - Comparação da variação média de velocidade de transmissão entre provetes de taipa	103
Figura 4.56 – Limites de Resistência de BTC.....	104
Figura 4.57 - BTC 5 após ensaio de compressão.....	105
Figura 4.58 – Limites de resistência de provetes de taipa .....	106
Figura 0.1 - Relação da perda de massa de cada BTC entre ciclos.....	118
Figura 0.2 - Relação da perda de massa de provetes de taipa entre ciclos .....	118

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Famílias de sistemas de construção em terra .....	7
Tabela 2.2 - Valores de referência de resistência à compressão de de terra .....	25
Tabela 4.1 - Teste de rolo do solo estudado com 8% caulino .....	47
Tabela 4.2 - Teor de água do solo estudado original .....	51
Tabela 4.3 – Resultados do ensaio de limites em porcentagem.....	54
Tabela 4.4 - Índice de plasticidade dos solos .....	54
Tabela 4.5 - Composição de argamassa de assentamento para BTC.....	71
Tabela 4.6 – Composição de argamassa de reboco para provete de taipa .....	72
Tabela 4.7 - Composição da tinta de óleo vegetal de cozinha usado.....	73
Tabela 4.8 - Quantitativo para tinta de cal viva com babosa.....	74
Tabela 4.9 - Composição de tinta de cal hidratada com silicato de sódio e pigmento .....	76
Tabela 4.10 – Quantitativo para verniz natural impermeabilizante.....	76
Tabela 4.11 - Distância a ser medida.....	84
Tabela 4.12 - Avaliação qualitativa de BTC .....	86
Tabela 4.13 - Avaliação Qualitativa de provetes de taipa.....	89
Tabela 4.14 - Variação de massa entre ciclos de BTC.....	96
Tabela 4.15 - Variação de massa entre ciclos de provete de taipa .....	98
Tabela 4.16 - Relação entre resultados de ultrassom e compressão dos BTCs.....	107
Tabela 4.17 - Relação entre resultados de ultrassom e compressão dos provetes de taipa .....	108
Tabela 0.1 - Limites de liquidez de cada provete.....	116
Tabela 0.2 - Limite de plasticidade.....	116
Tabela 0.3 – Granulometria peneirada dos finos em porcentagem .....	116
Tabela 0.4 - Granulometria dos grossos em porcentagem .....	116
Tabela 0.5 - Quadro dos tipos de provetes que foram produzidos.....	117
Tabela 0.6 - Limite de resistência dos provetes estudados.....	119

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

A escolha deste tema de tese é motivada por um grande interesse pela arquitetura antiga, a história que carrega, os estilos arquitetônicos, os materiais utilizados e as técnicas retrospectivas de construção, e também pelo fato de que nos dias de hoje as preocupações por escolhas mais sustentáveis e conforto permeiam todos os setores, principalmente o da construção, mesmo com toda sua complexidade e dificuldade em alcançar melhor desempenho sustentável, sendo crescente a necessidade de buscar por soluções que mitiguem o impacto da construção civil no meio ambiente.

Na convergência destes temas, a construção em terra destaca-se, sendo a terra um dos materiais construtivos mais antigos do mundo, presente em vasto patrimônio edificado em toda história da humanidade, como templos, habitações, fortificações, palácios e outros. Estima-se que metade da população mundial hoje em dia vive em construções de terra crua (Jalali & Eires, 2008).

É também um material que possui inúmeras vantagens, como economia no transporte e manuseio no local da obra, o que requer cerca de 1% da energia necessária em outros sistemas construtivos; evita a poluição ambiental; é material reciclável; proporciona também conforto interior, devido à característica higroscópica da argila. Ademais, é preciso mudar a percepção da sociedade e dos projetistas sobre a construção em terra e dotar os projetistas de conhecimentos técnicos de apoio ao projeto de execução da arquitetura.

## 1.2 Objetivos e metodologia

Este trabalho pretende responder a duas questões essenciais:

- o preconceito sobre a durabilidade da construção em terra;
- e falta de conhecimento técnico por parte dos profissionais da construção civil

Visto que, a terra como material construtivo é visto hoje em dia pela sociedade como sinônimo de pobreza (Jalali & Eires, 2008).

Para tal, é utilizada a seguinte estratégia:

- a realização de uma breve pesquisa sobre a construção em terra, procurando exemplos de edifícios antigos, de modo a poder demonstrar como é que estes duraram até aos nossos dias, e com mudar o preconceito sobre a durabilidade da construção em terra. Foram também

identificadas as diferentes técnicas construtivas para se perceber quais as técnicas mais utilizadas nos dias de hoje. Tendo sido também objeto de pesquisa os principais benefícios e também desvantagens da construção em terra;

- questionário geral sobre o tema dos materiais sustentáveis, incluindo a construção em terra para avaliar o nível de interesse e conhecimento sobre este tipo de construção dos profissionais de arquitetura, engenharia e construção; e

- a realização de um estudo laboratorial para avaliação da durabilidade da construção em terra recorrendo à preparação e avaliação do desempenho de amostras de elementos construtivos em terra das técnicas mais utilizadas, a taipa e o BTC. Sendo analisados diferentes tipos de materiais ligantes para estabilização do solo e diferentes tipos de acabamento. Este desempenho foi avaliado recorrendo principalmente a um ensaio acelerado de erosão simulando a chuva e períodos de secagem, avaliando-se também a perda de resistência após o ensaio.

### 1.3 Organização da dissertação

O trabalho consiste em quatro partes principais: a primeira parte, com os capítulos 1 e 2, que introduz o trabalho e apresenta a terra crua como material de construção, baseada em pesquisa na literatura sobre o histórico da construção em terra, abordando técnicas tradicionais de construção em terra, características e propriedades do material, assim como também soluções contemporâneas e inovadoras de construções em terra.

A segunda parte, que contempla o capítulo 3, foi feita a análise do inquérito, divulgado meses antes, na intenção de se saber o nível de conhecimento, aptidão e engajamento dos profissionais da área da construção a soluções construtivas sustentáveis.

A terceira parte do trabalho, com o capítulo 4, que abrange estudos e experimentos feitos em laboratório, onde foram fabricados provetes de terra para serem submetidos a ensaios que atestem a durabilidade e resistência do material, e também os resultados obtidos nos ensaios.

A quarta e última parte com o capítulo 5, que contempla as conclusões sobre o inquérito, sobre a parte prática em laboratório e conclusão geral, mais as sugestões de trabalhos futuros.

## 2. A CONSTRUÇÃO EM TERRA

### 2.1 Histórico

A terra é usada como material de construção por todas as culturas antigas, em habitações e templos religiosos, é um material de construção tão antigo como a própria humanidade, sendo utilizada em todos os continentes, o que lhe dá um caráter claramente universal. As técnicas de construção em terra são conhecidas há mais de 9000 anos, casas feitas de adobe, construídas entre 8000 e 6000 A.C., foram descobertas em região da antiga União Soviética; fundações de taipa de cerca de 5000 A.C. foram encontrados na Assíria; abóbodas do templo de Ramsés II, no Egito, construídas com adobes há 3200 anos; a cidade de Bam no Irã possui partes construídas há cerca de 2500 anos; no Marrocos, a cidade de Ouarzazate, no Vale de Draa, tem cerca de 2500 anos (Figura 2.1) (Minke, 2006) .



Figura 2.1 - Cidade de Ouarzazate no Vale de Draa, Marrocos  
(Foto da autora, 2019)

A muralha da China, com cerca de 4000 anos, foi inicialmente construída em taipa, sendo revestida com tijolos e pedras somente tempos depois, adquirindo a aparência de uma muralha de pedra. Na África, quase todas as mesquitas são construídas com terra, a utilização deste material tem servido não só para a construção de habitações rurais e urbanas, mas também para erguer alguns dos monumentos e conjuntos arquitetônicos dos mais valiosos e interessantes do mundo, como a cidade antiga de Shibam (Figura 2.2), no Iêmen, uma das cidades construídas em terra classificadas como património mundial pela UNESCO (Fernandes, 2013; M. I. Gomes et al., 2019).





Figura 2.2 - Construções de adobe na cidade de Shibam, no Iêmen  
(Fonte: KRMagazine)

Nas américas, mais precisamente no México e Américas Central e do Sul, a construção em adobe era conhecida por quase todas as civilizações pré-colombianas, assim como a técnica de construção em taipa também era bastante popular e foi difundida pelos espanhóis quando chegaram na região. No México, a Pirâmide do Sol, em Teotihuacán, construída entre 300 e 900 D.C., interior composto por cerca de 2 milhões de toneladas de terra batida. Há séculos atrás, em regiões secas e onde não havia madeira em abundância, foram desenvolvidas técnicas construtivas que cobriam os edifícios com cúpulas e tijolos feitos de lama sem usar nenhum tipo de cofragem (Minke, 2006).



Figura 2.3 - Centro histórico de Rennes, França  
(Fonte: ARCATerra)

Na Alemanha, descobertas da Era do Bronze, mostraram que as construções eram feitas com estrutura de madeira e a terra era usada como preenchimento de frestas entre os troncos; encontra-se também no país o exemplo mais antigo de parede de tijolo de lama do norte da Europa, em Forte Heuneburg, do século sexto antes de Cristo. Escritos antigos de Plínio contam que na Espanha havia fortalezas de terra batida no ano 100 A.C (Minke, 2006). A técnica de pau-a-pique também era conhecida no continente. No período Medieval, entre os séculos XIII e XVII, a terra era usada em toda a Europa como elemento de preenchimento nas construções de estrutura de madeira, assim como cobertura, em reboco de telhados de palha para os tornar resistentes ao fogo, como exemplo o centro histórico da cidade de Rennes, na França (Figura 2.3). Na França a técnica de taipa ficou muito popular entre os séculos XV e XIX. Próximo à cidade de Lyon há edifícios de mais de 300 anos ainda hoje habitados. Esta técnica se popularizou e ficou muito conhecida por toda Alemanha e países vizinhos, Gilly (1787) *apud* Minke (2006) descreve a técnica de taipa como o mais vantajoso método de construção com terra (Minke, 2006; Fernandes, 2006).



Figura 2.4 - Edifício mais alto da Europa construído em taipa

O edifício mais alto na Europa construído em taipa é uma construção de 1828 (Figura 2.4), situa-se na cidade de Weilburg, na Alemanha, é habitada e já resistiu a um incêndio. Os andares e telhado apoiam-se sobre sólidas paredes de taipa que possuem espessura de 75cm na base e 40cm no último andar (Minke, 2006).

## 2.2 Técnicas construtivas em terra

A terra será sempre um dos materiais contemplados na construção das habitações, devido a sua abundância, custo acessível, tradição e facilidade de execução. O CRAterre (Centre International de la Construction en Terre) buscou sistematizar inúmeras soluções construtivas de terra, e fazendo uma síntese das possíveis soluções, incluiu dezoito sistemas, dentre tradicionais e modernos, divididos em três categorias:

- monolítica e portante;
- alvenaria portante
- enchimento ou proteção de estrutura de suporte (Fernandes, 2006).

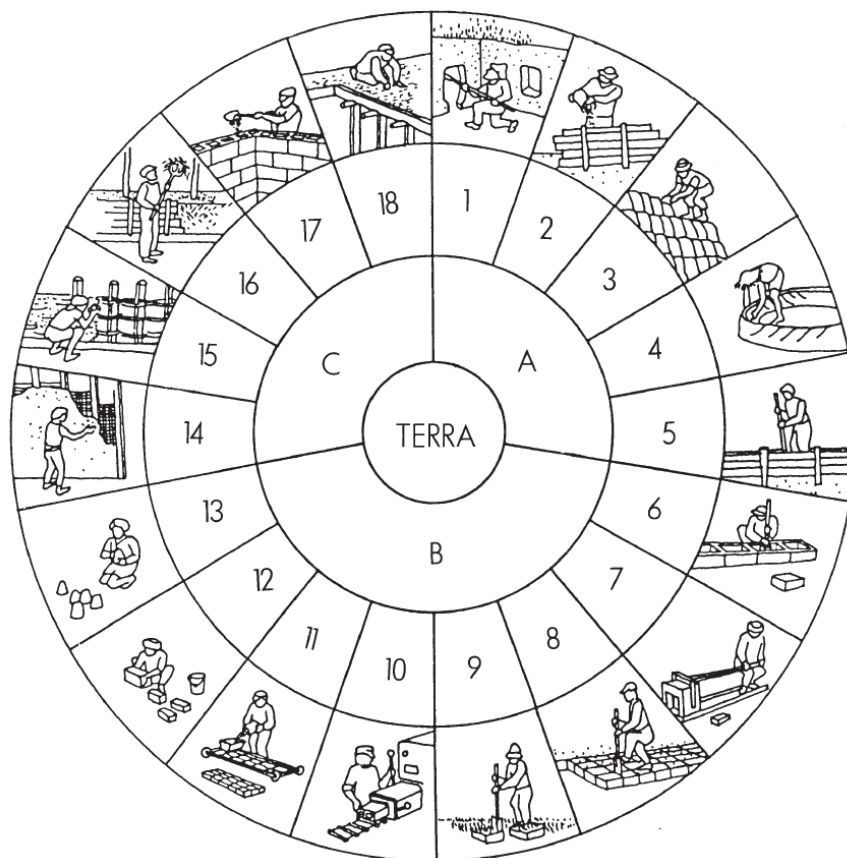


Figura 2.5 - Diagrama criado pelo CRAterre

A Figura 2.5 mostra o diagrama criado pelo CRAterre, onde foram organizados os diferentes sistemas construtivos em famílias, dentre tradicionais e modernos, que utilizam a terra como matéria-prima (Houben et al., 2006).

Tabela 2.1 - Famílias de sistemas de construção em terra  
(Houben et al., 2006 *apud* Fernandes, 2006)

A UTILIZAÇÃO DA TERRA SOB A FORMA MONOLÍTICA E PORTANTE	B UTILIZAÇÃO DA TERRA SOB A FORMA DE ALVENARIA PORTANTE	C UTILIZAÇÃO DA TERRA COMO ENCHIMENTO DUMA ESTRUTURA DE SUPORTE
1 - TERRA ESCAVADA	6 - BLOCOS APILOADOS	14 - TERRA DE RECOBRIMENTO
2 - TERRA PLÁSTICA	7 - BLOCOS PRENSADOS	15 - TERRA SOBRE ENGRADADO
3 - TERRA EMPILHADA	8 - BLOCOS CORTADOS	16 - TERRA PALHA
4 - TERRA MODELADA	9 - TORRÕES DE TERRA	17 - TERRA DE ENCHIMENTO
5 - TERRA PRENSADA: TAIPA	10 - TERRA EXTRUDIDA	18 - TERRA DE COBERTURA
	11 - ADOBE MECÂNICO	
	12 - ADOBE MANUAL	
	13 - ADOBE MOLDADO	

São muitas as técnicas construtivas que usam a terra como matéria-prima, como mostra a Tabela 2.1. Para exemplificar algumas delas, temos: terra escavada; terra empilhada; blocos cortados; pau a pique; adobe manual e muitos outros. O presente estudo trata de aspectos e experimentos em laboratório de duas técnicas de construção em terra: uma tradicional e muito presente na história da arquitetura, sendo muito empregada ao longo dos séculos em diversas civilizações espalhadas pelo mundo, e também umas das mais populares ainda nos dias de hoje, a taipa; a outra, considerada uma técnica contemporânea e que surgiu da evolução do adobe, é o bloco de terra compactado ou mais comumente chamado de BTC (Jalali & Eires, 2008).

### 2.2.1 Taipa: uma técnica construtiva tradicional

Chamada de taipa de pilão no Brasil, ou simplesmente taipa no sul de Portugal, região do país onde se concentram grande número de construções utilizando a técnica, *terre pisé* na França, e ainda outros nomes nos diferentes países onde é utilizada, é uma técnica de construção monolítica e de característica de elevação *in situ*, ou seja, não existe separação entre a técnica construtiva e o material. Foi também recuperada e melhorada com o tempo para a construção contemporânea e necessita de alguns instrumentos para a sua execução. Consiste na compactação de camadas de terra mais seca, de consistência úmida, dentro de cofragens, conhecidas como taipais. É uma técnica encontrada com mais frequência e apropriada para regiões pouco irrigadas, está presente na Europa mediterrânea e também na Alemanha, Suíça e Áustria; em todo o Mediterrâneo; é predominante nos países do Oriente Médio; na China; na Austrália, e por todos os continentes Americano e Africano (Fernandes, 2006; Jalali & Eires, 2008).



Figura 2.6 - Construção de parede em taipa de compactação manual, e taipal de madeira.  
(Foto do Arq. Miguel Mendes)

Os principais equipamentos para a execução da taipa são a forma, também conhecida como taipal ou molde (Figura 2.6), e o compactador, chamado de soquete ou pilão. As formas devem ser resistentes ao impacto do compactador ou à pressão exercida pela terra durante sua compactação, no entanto, apesar de bem estruturadas, devem ser leves e fáceis de manusear, pois as atividades de montagem e desmontagem das formas são determinantes para a produtividade. A compactação à primeira vista parece ser execução mais trabalhosa da obra, mas Heise (2003) *apud* Neves & Faria (2011) afirma que o preparo da terra e as atividades de montagem e desmontagem da forma são as que consomem maior tempo (Neves & Faria, 2011).

A técnica consiste em bater uniformemente a terra com um pilão em sucessivas camadas de terra, ligeiramente umedecidas, dentro do taipal, que consiste na colocação paralela de duas tábuas de madeira, fixadas entre si, em cima e embaixo, por peças chamadas de agulhas. No lado externo são fixadas com pedaços de madeira fixadas ao taipal com o auxílio de cunhas, fazendo seu travamento, que se repetem em intervalos regulares (Figura 2.7). Os taipais podem ter alturas variáveis, mas sempre acima de 60cm (Weimer, 2005 *apud* Peixoto, 2017).

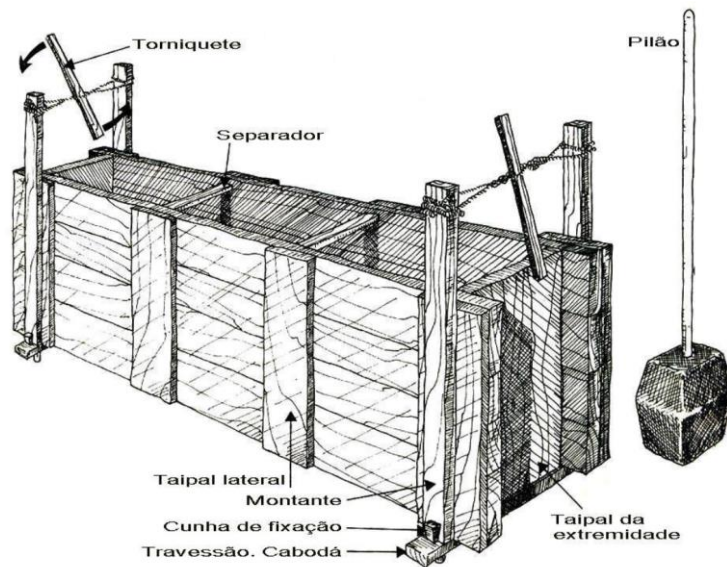


Figura 2.7 - Taipal e pilão  
(Imagem de Bardou, 1981, p. 19)

O compactador pode ser manual ou mecânico (Figura 2.8); se for manual, deve ser firme e resistente, mas não muito pesado para facilitar o manuseio e minimizar o esforço de quem irá executar, além disso, a compactação não se dá pela força do impacto, mas pela frequência das batidas, fazendo com que as partículas do solo se acomodem e eliminem o máximo de vazios possível na camada de terra. Para a escolha de um compactador mecânico, deve-se considerar os mesmos fatores, ser leve e de fácil utilização. Compactadores pesados levam a densidades elevadas do material, causando perda de características significativas da taipa, que é a troca de umidade com o meio, além de poderem danificar a forma (Minke, 2006).

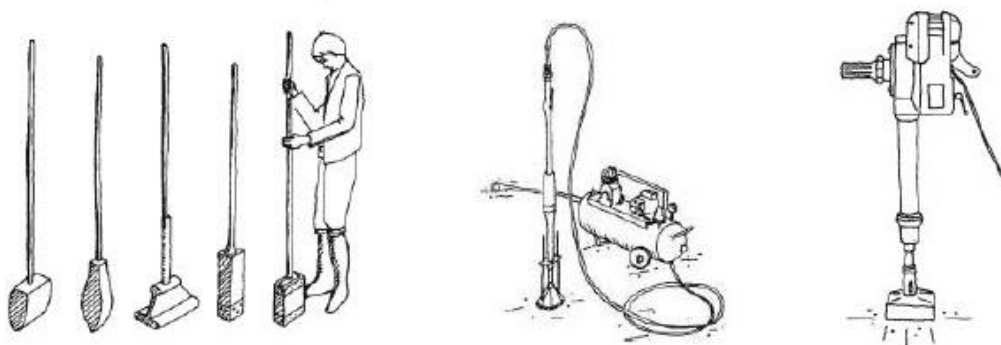


Figura 2.8 - Tipos de compactadores  
(Compactadores utilizados na compactação manual, esquerda; compactador pneumático, Austrália, centro, e compactador elétrico Wacker, direita)  
(Minke, 2006)

Em Portugal a técnica construtiva em taipa foi introduzida pelos árabes na região sul do país, onde é encontrada especialmente em construções fortificadas; em arquitetura tradicional rural e pública no Alentejo; em paredes externas no Algarve e em áreas restritas na região central e litoral norte. A técnica foi recuperada a partir dos anos 90 do séc. XX e tem sido utilizada no litoral do Alentejo atualmente (Fernandes, 2006). Abaixo o Castelo de Silves (Figura 2.9), herança árabe no Algarve, do ano de 716 e que resiste até os dias de hoje, a fortificação ocupa uma área de cerca de 12.000m<sup>2</sup>, constituindo-se em um típico exemplar da arquitetura militar islâmica, erguido com o emprego de taipa, revestida com grés (arenito), material abundante na região e que lhe confere uma tonalidade avermelhada (Silves, 2022).



Figura 2.9 – Castelo de Silves, Algarve

No Brasil, a técnica foi levada pelos colonizadores portugueses e foi amplamente utilizada em vilas e cidades do litoral que surgiram no período colonial. Com adaptações às condições do terreno no país, a arquitetura luso-árabe sofreu algumas alterações, como a eliminação de alicerces e baldrames de pedra por fundações feitas em terra compactada. Essas adaptações aplicadas ao processo construtivo de taipa colaboraram com o nascimento da “tipologia Bandeirista” (Weimer, 2005 *apud* Peixoto, 2017).

Na Figura 2.10 está um exemplo de casa bandeirista, casa sede do Sítio Padre Inácio, localizado na cidade de Cotia no estado de São Paulo, a casa sede é uma construção da segunda metade do século 17, e foi tombada pelo Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – Iphan, em 1951. É construída em taipa de pilão em valas abertas diretamente no solo, sem baldrames de

pedras ou tijolos, tão comuns à prática ibérica. Foi construída em terreno plano e em nível, de forma a permitir o escoamento ideal das águas pluviais. O edifício também apresenta outros elementos construtivos e arquitetônicos característicos da época, como telhas de barro, cachorros em madeira entalhada, alpendre e grandes beirais que protegem a taipa da incidência da chuva (Petini et al., 2016).



Figura 2.10 – Casa do Sítio do Padre Inácio.  
(Foto de Victor Hugo Mori)

A casa bandeirista do Sítio do Padre Inácio apresenta planta quadrada, frontispício em alpendre ornamentado, paredes externas brancas, poucas janelas e portas, sendo o interior pouco iluminado, e chão de terra batida. A cobertura em quatro águas está apoiada sobre altas paredes e possui longos beirais, que protegem as paredes externas da corrosão causada pelas chuvas (Petini et al., 2016).

### 2.2.2 A taipa mecanizada

A taipa, uma das técnicas mais tradicionais e muito popular ao longo dos séculos, hoje em dia pode ser executada de forma mecanizada. É realizada seguindo os mesmos moldes da taipa tradicional, mas a cofragem agora pode ser bem maior (Figura 2.11), utilizando placas e perfis à base de madeira ou metal e a compactação é feita por meio de um compactador pneumático, semelhante aos compactadores utilizados na compactação de pavimentos (Eires, 2012).



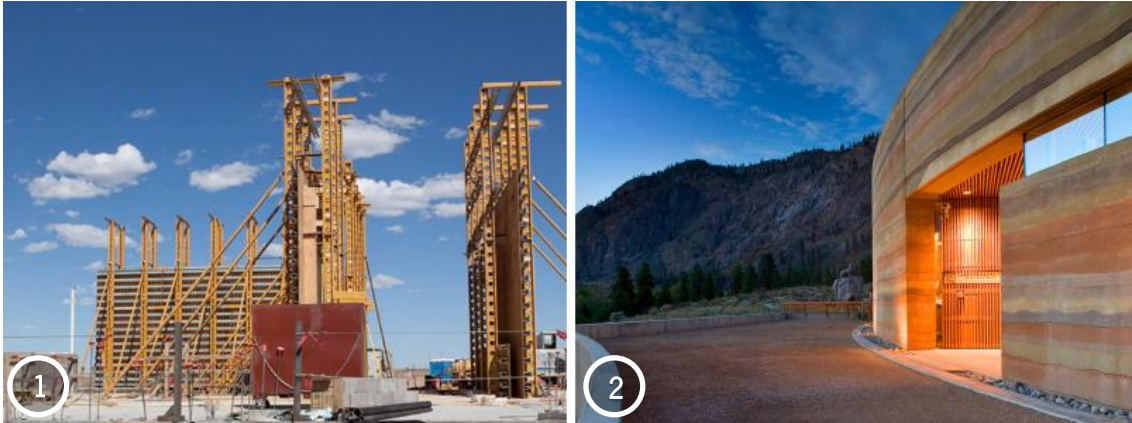


Figura 2.11 – Construções contemporâneas com técnica de taipa  
 (1- Construção de parede de taipa, e 2- o premiado NK'Mip Desert Cultural Centre,  
 British Columbia CA; direita)  
 (Fonte: SIREWALL)

A construção em terra é ampla na Austrália e teve origem na segunda metade do século XIX, quando a taipa se tornou uma técnica muito popular por todas as regiões do país, sendo predominante na arquitetura contemporânea australiana, apesar de outras técnicas de construção em terra também serem aplicadas por lá. O uso e desenvolvimento da taipa de pilão atualmente na Austrália, mais precisamente em Melbourne, é resultado de muito investimento do país em regulamentação, investigação universitária e implementação de inúmeros projetos. Essa prosperidade da construção em terra na Austrália talvez seja pela falta de uso do material na construção durante a história do país, diferentemente de outros países que relacionam as técnicas sempre ao patrimônio histórico e a edificações precárias ou de baixa renda (Fernandes, 2013; Rocha & Melo, 2017).



Figura 2.12 – Narbo Via History Museum, França  
 (Fonte: SIREWALL)

O SIREWALL é um sistema construtivo criado por Meror Krayenhoff há mais de 25 anos, também fundador da empresa canadense que recebeu o mesmo nome da técnica, e que consiste em um sistema estrutural de parede sanduíche de espessura que varia entre 50cm e 60cm e que utiliza a combinação de solos locais com 9% de cimento compactados de ambos os lados, envolvendo e escondendo uma camada central de um isolante rígido de aproximadamente 10cm (Figura 2.12).

Este sistema de paredes de alta performance vem sendo refinado ao longo de todos esses anos de existência, produzindo massa térmica e eficiência que superam qualquer outro sistema de paredes, e excede todos os *standards* correntes de eficiência energética e resistência a compressão (SIREWALL, 2021).

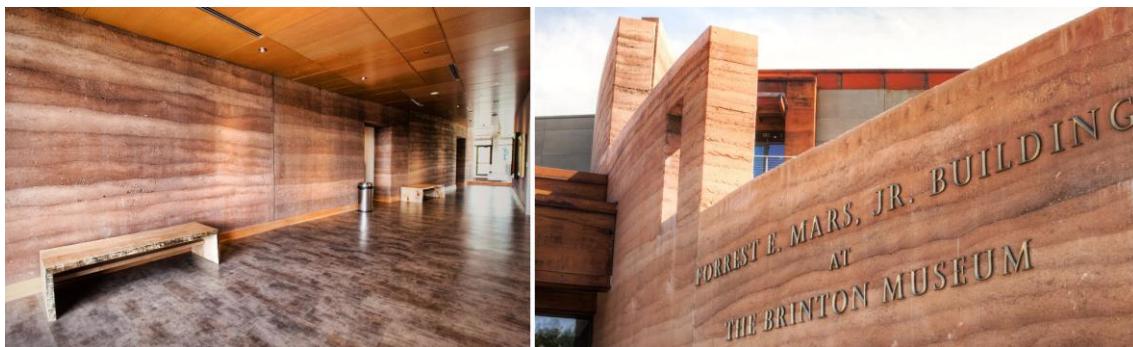


Figura 2.13 - Brinton Museum, Big Horn, Wyoming US  
(Fonte: SIREWALL)

As características construtivas da técnica permitem uma arquitetura atraente e impactante que se mescla com a robustez e a beleza sedimentar da terra (Figura 2.13), com inúmeras obras prontas e em curso espalhadas pelo globo, com portfólio que apresenta museus, hotel, livraria, adega de vinhos, e outros (SIREWALL, 2021).

### 2.2.3 BTC: uma técnica construtiva contemporânea

O bloco de terra comprimida, desenvolvida especialmente na Bélgica, França e Alemanha, surgiu da evolução do adobe, e consiste em comprimir à pressão a terra seca com grande porcentagem de partículas finas em moldes, seguido do desmolde imediato. A compressão é realizada através de uma prensa manual, que proporciona a confecção de blocos, que podem ser maciços ou furados, e ainda pequenas placas de revestimento (Figura 2.14). É possível fabricar BTC em formatos e tamanhos diversos, sendo os mais usuais o BTC maciço e o BTC com furos, ambos com e sem encaixes, como mostra a figura abaixo (Fernandes, 2006; Jalali & Eires, 2008; Neves & Faria, 2011).

O processo de fabricação passa pela prensagem da mistura de terra mais estabilizante e água num molde, através de uma máquina manual ou hidráulica e pela secagem ao ar até se atingir a idade de cura. Desta forma, não é necessário nenhum processo de cozadura, o que se torna numa vantagem para países com poucos recursos naturais (Campos-Costa et al., 2016).

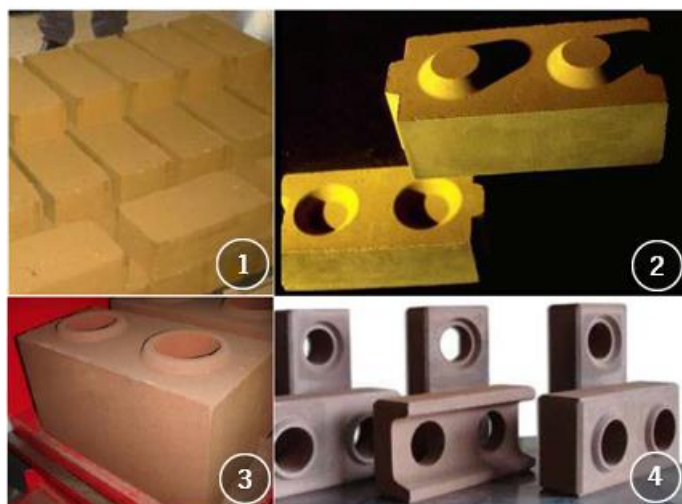


Figura 2.14 - Alguns exemplos da variedade de BTC  
 (Tipos de BTC: 1- Maciço de superfície lisa; 2- Maciço com encaixes – “Bloco Mattone”;  
 3- Com furos, e 4- Com furos e encaixe)  
 (Neves & Faria, 2011)

As prensas manuais requerem pouco investimento em sua aquisição e manutenção (Figura 2.15), além de serem compactas, leves, de fácil manuseio e não consome energia. A baixa taxa de compactação, principalmente da prensa manual mecânica, exige que o preparo da terra seja muito cuidadoso, para que os BTCs tenham pouca dispersão na resistência à compressão semelhante entre eles (Pacheco et al., 2009).



Figura 2.15 – Execução de BTC com prensa “Cinva-ram”  
 (1- Enchimento da câmara com terra; 2- confinamento da mistura;  
 3- elevação do BTC, e 4- retirada do BTC)  
 (Fonte: Torgal & Jalali, 2010)

A forma de construir do bloco é semelhante ao tijolo, e pode ser usado em qualquer tipo de construção substituindo os blocos cerâmicos convencionais, seja em alvenaria simples de vedação, ou estrutural, desde que atenda às exigências de resistência estabelecidas no projeto. As paredes podem ser de blocos aparentes, desde que protegidas das chuvas, como revestidas por argamassa, vários tipos de pintura ou revestimento cerâmico (Figura 2.16). Se o BTC for do tipo encaixável, pode ser assentado com necessidade mínima de argamassa, podendo ser dispensada nas juntas verticais. Pela facilidade na produção, e pelas vantagens de secagem rápida e resistência mecânica, o BTC é uma das técnicas de construção em terra de maior sucesso nos dias de hoje (Neves & Faria, 2011).



Figura 2.16 - Construção de alvenaria com uso de BTC, Alentejo  
(Fonte: Torgal & Jalali, 2010)

#### 2.2.4 O BTC em prensa hidráulica

Nesta modalidade o bloco de terra é comprimido em prensa hidráulica (Figura 2.17), o que aumenta consideravelmente sua resistência mecânica e a resistência ao contato com a água, já que a acomodação entre as partículas se torna mais consistente (Eires, 2012). O processo de fabricação do BTC permite que seja aplicado em sistema de controle de qualidade eficaz, além de garantir a uniformidade das dimensões do bloco (Neves & Faria, 2011).

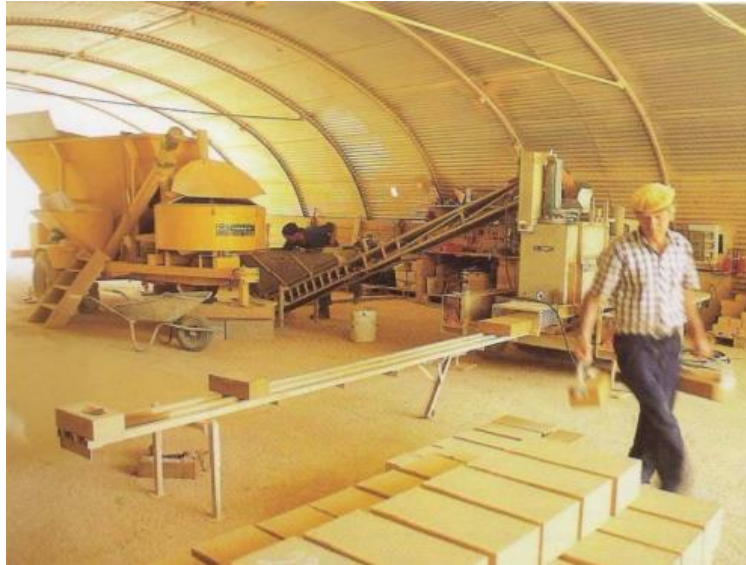


Figura 2.17 - Prensa hidráulica fixa para fabricação de BTC  
(Fonte: Torgal & Jalali, 2010)

O BTC é um tipo de técnica que permite um período de construção reduzido, por não ser necessário esperar muito tempo desde que o bloco é produzido até à sua aplicação, permitindo a produção de blocos durante um ano inteiro. Contudo, a utilização mais generalizada do BTC pode ser limitada devido à dificuldade em adquirir terra adequada à produção do mesmo; à construção em altura; à carência a nível de legislação e normas construtivas, e à rejeição cultural, sendo estas as principais desvantagens nas construções deste tipo (Lourenço, 2002 *apud* Silva, 2018).

### 2.3 A terra como material de construção e suas propriedades

Designa-se construção em terra toda aquela que for edificada utilizando como matéria prima a terra crua, sem alteração de suas características mineralógicas, excluindo todo material cerâmico que passe pelo processo de cozedura e acaba por perder as propriedades iniciais da terra que é seca ao sol. A terra, apesar de frágil de início, quando misturada à água de formas variadas, possibilita a produção de materiais de considerável resistência e sistemas construtivos quase indestrutíveis. Há dezenas de maneiras de se construir com terra, que se adaptam a inúmeras qualidades de solo, identidade cultural e experiências construtivas locais (Fernandes, 2006).

#### 2.3.1 Desvantagens

De acordo com suas características, a terra como material de construção possui algumas desvantagens em relação aos materiais de construção industrializados, como:

- A terra não é um material de construção padronizado, ela é composta por diferentes quantidades e tipos de argila, silte, areia e agregados, desta forma, suas características

podem diferenciar de um local para outro e a preparação correta para uma determinada aplicação também (Minke, 2006);

- A água é necessária para ativar as forças de ligação e alcançar nível de plasticidade necessária para trabalhar, mas se a água usada para a preparação da mistura evaporar, a terra pode encolher e ocasionar fissuras e fendas. O coeficiente de diminuição para misturas mais úmidas (tijolos e argamassa) é entre 3% e 12%; para misturas mais secas (taipa e BTC) o coeficiente é entre 0,4% e 2%. Esse fenômeno pode ser minimizado diminuindo a quantidade de argila e/ou água; otimizando a proporção das outras partículas e agregados, e com a utilização de aditivos (Minke, 2006);
- A terra não é um material resistente à água, portanto, as construções de terra não podem estar expostas à chuva e nem ao gelo ou geada, principalmente quando ainda se encontram úmidas. As paredes de terra devem ser protegidas por beirais lindos, membranas anti-capilaridade, rebocos adequados e outros (Minke, 2006), e
- A terra quando estabilizada com cimento, não pode ser reintegrada ao meio ambiente, mas ainda pode ser reciclada como material de reaproveitamento em outra construção em que o cimento seja utilizado como agente estabilizante (Rocha & Melo, 2017).

### 2.3.2 Vantagens

Por outro lado, a terra possui inúmeras vantagens em comparação aos outros materiais de construção recorrentes, seguem algumas delas, segundo Minke (2006) e Mukerji & CRATerre (1988):

- A terra é capaz de absorver e liberar umidade de forma mais rápida e em maior quantidade do que qualquer outro material de construção, mantendo o ambiente interno controlado, com umidade relativa entre 40%-60%. Ela também tem a capacidade de armazenar calor, característica dos materiais densos, em locais onde haja grandes amplitudes térmicas de dia, ou quando é necessário armazenar calor adquirido de forma passiva, ela pode equilibrar o ambiente interno, evitando grandes oscilações de temperatura.
- O uso da terra como material de construção poupa energia e reduz a poluição ambiental, pois como é preparada, transportada e manuseada no local da construção ou arredores, requer apenas 1% da energia necessária à produção, transporte e manuseio dos tijolos normais ou concreto, de forma que também não causa poluição ambiental.

- A terra é um material facilmente reutilizável, pois na forma não processada (cozida) pode ser reciclada infinitas vezes por longos períodos de tempo, retornando à terra já que é matéria natural sem qualquer alteração química, assim, nunca será entulho de obra que prejudique o ambiente.
- A construção em terra requer mão-de-obra especializada e requer uso de ferramentas baratas, contudo, pode ser posta em prática por amadores, desde que o processo de construção seja supervisionado por uma pessoa experiente, o que impulsiona a empregabilidade local.
- Segundo o padrão Alemão DIN 4102 (Parte 1, 1977) o barro, mesmo quando misturado à palha, é considerado não combustível, caso a densidade não seja inferior a 1700 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.4 Benefícios para a saúde

Em climas temperados e frios, as pessoas costumam passar 90% do tempo em espaços fechados, por esta razão, o ambiente interno exerce grande influência na saúde e bem-estar dos usuários. A sensação de conforto é influenciada pela temperatura, a umidade, o movimento do ar, a irradiação de e para os objetos ao redor, e da qualidade do ar usado nos ambientes. A umidade nos espaços fechados tem impacto expressivo na saúde dos ocupantes e a terra tem a capacidade de mantê-la em equilíbrio nestes ambientes como nenhum outro material é capaz (Minke, 2006).

A terra possui características que fazem um edifício construído com esse material causar sensações de bem-estar em seus ocupantes, e a razão é porque possui excelente comportamento higrotérmico, eficiência acústica, ausência de liberação de compostos orgânicos voláteis e baixo índice de emissão de radioatividade (Eires, 2012).

### 2.4.1 Propriedade higrotérmica

A terra possui propriedades higrotérmicas que contribuem para a regularização do conforto térmico e para a exploração de mecanismos com funcionamento bioclimáticos. Uma investigação conduzida por Grandjean (1972) e Becker (1986) mostrou que em um ambiente onde a umidade relativa do ar for inferior a 40% por um longo período, pode causar ressecamento da mucosa e a consequência disto é o enfraquecimento das defesas naturais do corpo contra doenças respiratórias (Minke, 2006).

*“paredes de terra transpiram e equilibram os excessos e carências de umidade e de temperatura do ambiente”*  
(Weimer, 2005)

Por outro lado, a umidade relativa mais elevada, até 70%, produz efeitos muito positivos, como redução de pó fino presente no ar; torna mais ativos os mecanismos de proteção da pele contra micróbios; reduz o tempo de vida de vírus e bactérias, e reduz odores e a eletricidade estática dos objetos. Já quando a umidade relativa do ar é superior a 70%, causa sensação de desconforto, provavelmente motivado pela diminuição da quantidade de oxigênio absorvida pelo sangue em situações de ar quente e úmido, e há mais queixas de dores reumáticas em casos de ar frio e úmido. Quando a umidade relativa está acima dos 70% ou 80%, o desenvolvimento de fungos também aumenta significativamente, e os esporos liberados por eles podem causar diversos tipos de alergias e outros problemas de saúde. Diante destes fatos, conclui-se que a umidade relativa nos ambientes fechados deve manter-se entre o mínimo de 40% e o máximo de 70% (Minke, 2006). Já a Organização Mundial da Saúde, OMS, refere os limites de conforto térmico entre 18° e 24° e os limites de umidade relativa do ar entre 30% e 65% (Eires, 2012).

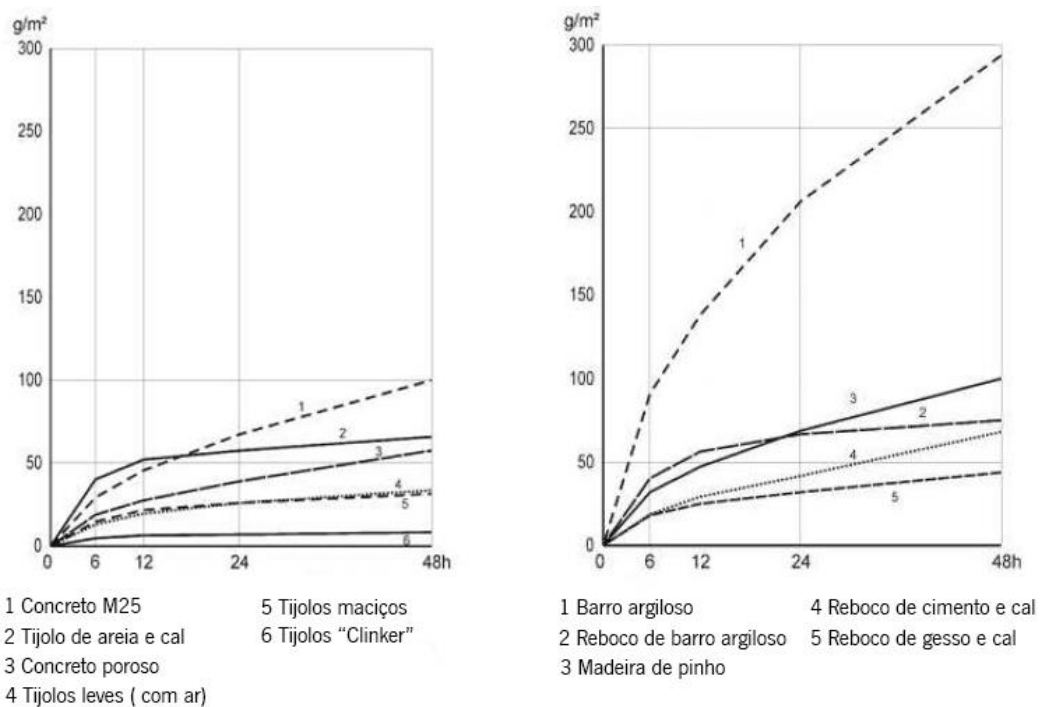


Figura 2.18 - Amostras de absorção de diferentes materiais quando a umidade relativa sobe de 50% para 80% (Minke, 2006)

Pesquisas em laboratório comprovam que uma parede de tijolos de terra é capaz de absorver 10 vezes mais umidade do ar do que em paredes com revestimentos de pedra calcária, arenito ou pinho. A figura 2.18 mostra nos gráficos da esquerda e da direita que revestimentos de 15mm de espessura de diferentes naturezas, expostos a uma temperatura de 21°C, absorvem no máximo



cerca de 100 g/m<sup>2</sup>, enquanto a amostra de barro argiloso é capaz de absorver 300 g/m<sup>2</sup> em 48 horas no caso de a umidade relativa do ar ter sido subitamente elevada de 50% para 80% (Minke, 2006).

#### 2.4.2 Propriedade acústica

A OMS diz que a exposição à poluição sonora pode causar danos diretos e indiretos às pessoas. Entende-se como danos indiretos o desenvolvimento de stress; efeitos somáticos como alteração da pressão arterial e espasmos musculares; distúrbios do sono e mental, e efeitos cognitivos como concentração e memória. Se há exposição a índices sonoros superiores a 70 dB durante o sono e o repouso, existe a possibilidade de ocorrer doenças cardíacas (Eires, 2012).

A construção em terra tem duas características que permitem obter vantagens em relação a outros sistemas construtivos, como possuir espessura suficiente para a obtenção de um bom nível de isolamento acústico, além disso, a textura rugosa do material potencializa o isolamento, pois permite que o som disperse e não reflita diretamente como ocorre em superfícies lisas, causando eco no ambiente (Dobson, 2000 apud Eires, 2012). Quanto ao som de percussão, ao pisar ou bater em solo ou parede construídos à base de terra, a rugosidade do material não permite que seja produzido um som “oco”, como o que ocorre em construções de materiais mais leves e nem sons estridentes, como ocorrem em superfícies revestidas de elementos cerâmicos (Eires, 2012).

#### 2.4.3 Ausência de liberação de compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis, COV, são químicos que se evaporam e circulam pelo ar dentro e fora dos edifícios, e grande parte deles provém dos materiais de construção e decoração dos edifícios. Os sintomas mais comuns apresentados pela OMS, são: irritação nos olhos; fadiga; dor de cabeça; dificuldades em respirar; asma e outros sintomas, que podem, inclusive serem confundidos com a qualidade e poluição do ar nas grandes cidades. A construção em terra não emite COV, mas é preciso cuidado na escolha dos estabilizantes, aditivos, tintas, vernizes e revestimentos que serão usados na obra, assim como também deve-se ter critério na escolha do mobiliário, decoração e aos produtos de limpeza a serem usados na manutenção do edifício, sendo preferível a escolha de produtos mais naturais e sem emissão de COV (Eires, 2012).

#### 2.4.4 Menor emissão de radioatividade em relação a outros materiais de construção

A radioatividade está em todo lugar, até mesmo na água e no ar, portanto, ela também está presente em qualquer material de construção. Os efeitos da radioatividade na saúde é que se

exposto a altos níveis de radiação, pode causar lesões e alterações nos tecidos celulares dos seres vivos, principalmente nos tecidos sensíveis, como medula óssea, sistema digestivo, pulmões, e os efeitos dessa exposição podem se tornar ainda mais graves se a ventilação e a renovação do ar forem insuficientes em ambientes fechados e onde se apresente uma reunião de materiais radioativos. A terra como material de construção que não apresenta valores significativos de radioatividade, no entanto, a qualidade do solo onde se constrói é ainda mais importante do que os materiais da construção, pois a radioatividade pode ser transmitida pelos materiais, sendo assim, é necessário muito critério na escolha do local e o solo que será utilizado na construção (Eires, 2012).

## 2.5 Preconceito associado à construção em terra

O presente trabalho se baseia em pesquisa de vasto conteúdo de experiências e estudos pessoais de outros autores, bem como pesquisas acadêmicas e de organizações espalhadas pelo mundo todo, que não só mostram, mas também comprovam que as técnicas de construção em terra crua são opções sustentáveis e mais ecológicas muito viáveis, com custo inferior às construções convencionais, de técnicas simples e desenvolvimento tecnológico que atende as demandas do mercado nos dias atuais e que permite a construção de edifícios contemporâneos de traços arrojados.

Segundo Rocha e Melo (2017), com vasta experiência em construção de terra crua na Austrália, a execução da obra que utiliza a técnica de construção em taipa é percebida como simples, podendo resumidamente ser descrita como um sistema construtivo que envolve apenas quatro construtores no canteiro: dois profissionais com experiência em carpintaria, alvenaria e concreto armado, e os outros dois podendo ser iniciantes. E que com o uso da terra estabilizada, as ligações com vigas e pilares estruturais possibilitam que ela possa interagir com outros materiais como aço e madeira, assim como com outras técnicas construtivas, como o concreto armado, o que possibilita grande variedade arquitetônica e também o uso do material em casos de reabilitação.

Minke apontou que por questão de ignorância, o preconceito acerca da construção em terra ainda existe, muitos têm dificuldade de aceitar que um material natural como a terra não precisa passar por um processo industrial, e que a escavação das fundações possa fornecer material que possa ser utilizado para construir. Outra preocupação é de que ratos ou insetos possam viver dentro das paredes construídas em terra, não tem fundamento se estas forem sólidas. Os espaços ociosos,

como fendas e vazios, podem ser evitados com a construção de sólidas paredes de taipa ou adobe com juntas totalmente preenchidas por argamassa de barro. A ideia que também se tem de que as superfícies de terra são difíceis de limpar dilui-se quando usadas tintas à base de caseína, óleo de linhaça e outras tintas que tornem as superfícies resistentes e suaves. Os banheiros de paredes de terra são mais higiênicos do que aqueles com paredes revestidas de azulejos, já que a terra absorve o excesso de água rapidamente, evitando assim o desenvolvimento de fungos .

Observa-se também a carência que há de formação e capacitação de profissionais, de nível técnico e universitário, preocupados em atender os novos padrões. Os cursos que tenham matérias dedicadas às técnicas construtivas sustentáveis, incentivando e motivando este viés da construção são em geral de natureza informal e ocorrem com o esforço pessoal de alguns profissionais, com apoio de instituições privadas ou públicas. A grande maioria dos centros educativos e universitários não contemplam arquitetura e construção contemporânea em terra como disciplina regular, o que impede a formação em massa neste tema, o que permitiria os profissionais atuarem plenamente caso precisassem emitir avaliações, aprovar um projeto ou mesmo projetar uma construção em terra.

Há iniciativas em todos os países ibero-americanos de elaboração e publicação de normas técnicas para construção em terra. A maioria dos profissionais atuantes hoje em dia aprenderam fazendo, praticando e experimentando, e possuem bagagem considerável de conhecimento a ser aproveitado para a formação e capacitação de novos profissionais. A Rede Ibero-americana PROTERRA faz um grande esforço para reunir e integrar especialistas de diversas áreas de atuação para trocar e divulgar conhecimentos (Neves & Faria, 2011).

A Austrália é um exemplo de país que investiu em legislação, no incentivo da investigação universitária e em vários projetos que tornaram a taipa uma solução construtiva contemporânea e que atende os parâmetros construtivos atuais. O Canadá, os EUA e alguns países da Europa também tratam e desenvolvem a construção em terra como técnica contemporânea e plenamente capaz de substituir as técnicas convencionais de construção, apresentando alta performance estrutural que podem durar centenas de anos e desempenho termoacústico acima da média, além de baixo impacto ambiental, parâmetros estes que norteiam as urgentes necessidades de enquadramento da construção nos tempos atuais.

Ainda antes da conclusão do presente estudo, ocorreu o que pode vir a ser um marco na história da arquitetura contemporânea e uma mudança de paradigmas a tudo que se refere à construção em terra, em março de 2022 foi reverenciado com o Prêmio Pritzker o arquiteto Francis Kéré.

O arquiteto, autor de uma gama enorme de projetos de caráter social, e sustentável em todo o mundo (Figura 2.19), proporciona, principalmente, às regiões mais carentes da África a oportunidade de acesso à instalações de última necessidade como instituições de ensino, por exemplo, e que são tão carentes em partes do continente, e onde não há nem acesso a energia elétrica. Kéré, para quem *"quanto mais materiais locais utilizar, melhor poderá promover a economia local e (desenvolver) consciência local, o que também deixa as pessoas orgulhosas"*, entende que a arquitetura consume muito, faz uso do solo e outros materiais locais com maestria, mostrando que qualidade, modernidade e eficiência não necessariamente necessitam de materiais caros e importados.



Figura 2.19 - Obras arquitetônicas do arquiteto Francis Kéré pelo mundo

Nem sempre também foi fácil para ele implantar sua arquitetura no continente africano, mesmo com toda necessidade na região, o apoio que o arquiteto deu ao artesão local, mexendo com a economia utilizando mão-de-obra local, foi difícil para a população entender e aceitar o uso da terra e outros materiais encontrados na região na construção do edifícios. Para eles progresso é sinônimo de materiais modernos.

*"Por vezes o mundo ocidental - e a forma como se comunica - faz com que as coisas no Ocidente (pareçam) sejam as melhores. E são percebidas por outros como as melhores, sem ter em conta que os materiais locais podem ser a solução para a crise climática e podem ser a nossa melhor alternativa em termos socioeconômicos (desenvolvimento)."*

Francis Kéré (Holland, 2022)

Espera-se que a projeção da história e obra de Francis Kéré a nível mundial seja uma provocadora para que os profissionais atuantes no mercado transformem seus paradigmas de arquitetura/construção contemporânea e se interessem, busquem se especializar e façam

escolhas ecosustentáveis convictas, a exemplo das técnicas de construção em terra, amplamente divulgadas como solução da maior eficiência e versatilidade, e que este feito também favoreça a chegada dos futuros profissionais com pleno conhecimento do uso de materiais e soluções construtivas sustentáveis.

## 2.6 Detalhes de projeto e influências do processo construtivo na arquitetura

Conhecer as características do material, o processo construtivo e as possibilidades de se projetar para uma técnica construtiva em terra é essencial para a adequação de um projeto às necessidades e capacidades da técnica escolhida. A taipa, por exemplo, assemelha-se ao betão armado, pois se trata de paredes autoportantes, de propriedades estruturais eficientes para suportar cargas de compressão.



Figura 2.20 - Exemplo de detalhe de instalação elétrica embutida  
(Foto de Rodrigo Rocha, 2015)

Mas é preciso salientar a importância da etapa de projeto, que define a paginação das formas, a distância entre as juntas de dilatação, além de resolver detalhes arquitetônicos, como a previsão de mobiliário fixo do tipo “embutido”; conexões estruturais, e instalações elétricas e hidráulicas, como mostra a figura 2.19, pois, qualquer alteração futura torna-se inviável (Rocha & Melo, 2017).

O processo construtivo e as soluções arquitetônicas adotadas influenciam fortemente a durabilidade da construção em relação à ação da água, principalmente as fundações, os embasamentos, e a cobertura dos edifícios de terra. Com uma cobertura adequada e embasamento que evita ascensão capilar de água através do solo, as casas de taipa tradicionais, sem cimento ou cal, mostram uma durabilidade satisfatória (Bui et al., 2008 *apud* Eires, 2012).

## 2.7 Referências de estudos de outros autores e normas técnicas quanto à durabilidade do material

### 2.7.1 Durabilidade aos ciclos de molhagem e secagem

Quanto à durabilidade da terra sofrida nos ciclos de molhagem e secagem da erosão acelerada por jato de água, o estudo de outro autor sobre BTC revela que no solo com adição de 5% de cimento existe uma perda de massa de 1% e no solo com adição de 8% de cal existe uma perda de massa de 2% (Guettala et al, 2005 *apud* Eires, 2012).

### 2.7.2 Durabilidade à compressão

Quanto à performance da terra à resistência mecânica à compressão, foram utilizadas algumas referências de resultados anteriores de outros autores, bem como referências de algumas normas técnicas (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Valores de referência de resistência à compressão de de terra

Resistência à compressão			
Autor/norma	Adição	BTC	Taipa
HB 195 - 2002	-	2 Mpa	2Mpa
UNE 41410 2008	-	1,3 Mpa	-
Guettala (2006)	5% cimento	15,4 Mpa	-
Mateus (2005)	-	-	0,8 – 2,7 Mpa

A norma espanhola de blocos de terra comprimida apresentando as seguintes classes de resistência: BTC1 = 1,3 Mpa; BTC3= 3 Mpa; e BTC5= 5 Mpa (UNE 41410, 2008), assim se a resistência for inferior ao limite 1,3 Mpa, indicado pela norma, os blocos não são adequados para fins construtivos. Também a norma australiana refere o valor mínimo de 2 Mpa para a construção em taipa e BTC (HB 195, 2002).

Mateus estudou a resistência à compressão de suportes de taipa recolhidos no Barlavento Algarvio em cinco locais distintos: Porches, Sesmarias, Montes de Cima, Arão e Pincho, sem adições. Já Guettala analisou o comportamento mecânico de BTC utilizando amostras de solo recolhidas na região de Biskra, Sudeste da Argélia, estabilizadas com cimento, cal e resina. Foi levada em

consideração como referência para o presente estudo o resultado de amostra da BTC estabilizada com 5% de cimento (Mateus, 2005; Guettala et al., 2006 *apud* Abreu, 2013).

### 3 AVALIAÇÃO DO INTERESSE PELA CONSTRUÇÃO EM TERRA E OUTROS MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

#### 3.1 Introdução

Com o intuito de avaliar o nível de interesse e conhecimento a construção em terra comparativamente a outros materiais de construção. Preparou-se um inquérito de âmbito mais geral, para que o inquérito pudesse ser dirigido a um maior número de profissionais e que motivasse a responder ao mesmo, em vez de se focar apenas na construção em terra e ser respondido maioritariamente por quem já conhece a construção em terra.

Deste modo, procurou-se conhecer o perfil, a motivação, e a tendência do mercado da construção hoje em dia, do ponto de vista do profissional da área, para que os profissionais de diferentes categorias, como arquitetos, engenheiros, técnicos, entre outros, pudessem expressar seus conhecimentos, motivações, dificuldades e opiniões acerca da construção sustentável. Assim foi possível entender a popularidade da construção sustentável, saber se já é tema principal de debate nos escritórios de projetos; nas primeiras conversas com os clientes; se é escolha usual ao se idealizar um projeto arquitetônico, ou se está no cotidiano ao especificar materiais.

Além disso, também se buscou identificar as dificuldades encontradas por estes profissionais em relação ao mercado, como encontrar a mão de obra especializada, e materiais ou equipamentos de pegada sustentável, com custo viável e atraente. Outro ponto a ser diagnosticado foi o interesse, o entendimento e a aceitação do cliente em relação a escolher materiais mais sustentáveis. As questões que incluíram o conhecimento/interesse pela construção em terra centraram-se em duas questões, uma sobre os materiais utilizados na reabilitação e outra sobre o conhecimento de diversos materiais sustentáveis, entre estes a terra.

O inquérito foi divulgado diretamente para os profissionais da área de conhecimento da autora, como contatos pessoais; grupos de estudo; grupos sociais de profissionais da área em redes sociais; contatos diretos com alguns profissionais e organizações praticantes da construção em terra; para e-mails de contato de ordens e conselhos profissionais, de arquitetos e de engenheiros, no Brasil e em Portugal, e também para *mailing lists* de cursos afins de universidades.

### 3.2 Apresentação do inquérito

As imagens seguintes apresentam as questões enviadas aos inqueridos utilizando a plataforma Google Forms. Depois, no item 3.3, serão apresentadas e comentadas as respostas dos participantes mostrando as tendências na forma como trabalham e as prioridades nas escolhas que fazem.

## Materiais e Soluções Construtivas Preferidos Pelos Profissionais

Este inquérito possui fins académicos, e tem por finalidade analisar e compreender o conhecimento e as opções feitas pelos profissionais da construção civil acerca de materiais e técnicas de construção e reabilitação de edifícios.

O mesmo faz parte do trabalho de dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis da Universidade do Minho em Portugal, elaborado pela aluna Juliana Ferreira Nina e orientado pela professora Rute Maria Gonçalves Eires.

Responda com fidelidade à sua opinião, as informações recolhidas são anónimas e estritamente confidenciais.

Caso haja alguma dúvida, entre em contato pelo e-mail: [inqueritomcrs@gmail.com](mailto:inqueritomcrs@gmail.com)

Agradecemos desde já pela importante colaboração, isso não levará mais do que alguns instantes.

---

**\*Obrigatório**

Figura 3.1 - Introdução do inquérito



1. País onde vive e cidade (Exemplo: Portugal / Guimarães) \*

\_\_\_\_\_

2. Profissão/área de estudo. (Resposta única) \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Arquitetura
- Engenharia Civil
- Design de Interiores
- Técnico em Edificações
- Outro: \_\_\_\_\_

3. Formação (Resposta única) \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Ensino Secundário / Ensino Médio
- Escola Técnica
- Ensino Superior (Bacharelado/Licenciatura)
- Mestrado (Mestrado Integrado)
- Doutoramento
- Pós-Doutoramento
- Outro: \_\_\_\_\_

4. Instituição em que trabalha/estuda \*

\_\_\_\_\_

Figura 3.2 – Parte 1 do inquérito: Localização e identificação dos participantes

5. O que o(a) motiva a escolher uma técnica de construção específica para um projeto/empreendimento construtivo? (Na escala de 1 a 5 indique o que considera mais relevante, sendo 1 sem relevância e 5 extremamente relevante.) \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
Estética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas e soluções construtivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fator econômico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gerar baixa poluição e/ou ser reciclável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Materiais locais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tempo de projeto e construção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conhecimento sobre o uso, custo de manutenção e durabilidade da construção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. O que mais motiva a tomada de decisão de um cliente? (Na escala de 1 a 5 indique o que considera mais relevante, sendo 1 sem relevância e 5 extremamente relevante.) \*

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5
Estética	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas e soluções construtivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fator econômico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gerar baixa poluição e/ou ser reciclável	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Materiais locais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tempo de projeto e construção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conhecimento sobre o uso, custo de manutenção e durabilidade da construção	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 3.3 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 5 e 6)

7. Com que frequência utiliza os seguintes materiais na reabilitação de edifícios?  
(Na escala de 1 a 5, considere 1 os que não usa e 5 os que usa sempre.) \*

*Marcar apenas uma oval por linha.*

	1	2	3	4	5
"Drywall" (gesso cartonado tipo pladur)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Madeira	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Argamassas de cal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Argamassas de cimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Argamassa de saibro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Argamassas de terra	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
EPS (Poliestireno Expandido)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ETICS (sistema "capoto")	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Para si, qual a importância de uma conduta sustentável na elaboração de um projeto e no processo construtivo de um edifício? (Na escala de 0 a 10, considere 0 para nenhuma importância e 10 para extrema importância) \*

*Marcar apenas uma oval.*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sem importância	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	De extrema importância

9. Com que frequência lê ou pesquisa sobre alternativas sustentáveis na área da construção? (Em que 1 - nunca, 2 - raramente, 3 - às vezes, 4 - frequentemente e 5 - sempre) \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	
Nunca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sempre

Figura 3.4 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 7, 8 e 9)

10. Com que frequência costuma abordar um cliente apresentando a ele soluções e alternativas sustentáveis? (Em que 1 - nunca, 2 - raramente, 3 - às vezes, 4 - frequentemente e 5 - sempre) \*

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Nunca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sempre

11. Com que frequência um cliente entende e opta por soluções sustentáveis na construção de seu empreendimento? (Em que 1 - nunca, 2 - raramente, 3 - às vezes, 4 - frequentemente e 5 - sempre) \*

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Nunca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sempre

12. Que materiais/técnicas sustentáveis conhece? (Pode haver mais de uma resposta) \*

Marque todas que se aplicam.

- Construção em terra (abobe, taipa, BTC, etc...)
- Construção em madeira
- Construção em cânhamo industrial
- Construção em palha
- Construção em pedra natural
- Construção em bambu
- Construção com materiais reciclados
- Cobertura verde
- Polímeros

Outro:  \_\_\_\_\_

13. Se na região onde atua houvesse recursos e mão de obra especializada, qual seria a probabilidade de optar por alguma técnica sustentável em seus projetos ao invés de uma opção mais comum no mercado? (Em que 1 - nunca, 2 - pouco provável, 3 - provável, 4 - muito provável e 5 - sempre) \*

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Nunca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sempre

Figura 3.5 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 10, 11, 12 e 13)

14. Caso não utilize nenhuma técnica de construção sustentável em seus projetos construtivos, qual é o motivo? (Pode haver mais de uma resposta) \*

*Marque todas que se aplicam.*

Design e acabamento

Não encontro facilmente material e mão de obra especializada

Prefiro o que encontro no mercado

Custo acima da média

Meus clientes não se interessam por questões ambientais e sustentáveis

Não tenho, ou tenho pouco, conhecimento sobre o assunto

Outro:  \_\_\_\_\_

15. O que acha que falta para que a construção, de um modo geral, torne-se mais sustentável? (Pode haver mais de uma resposta) \*

*Marque todas que se aplicam.*

Incentivo do governo

Legislação que regule e exija tomadas de decisões sustentáveis

Mais informação e conhecimento de materiais e técnicas construtivas

Custo mais acessível

Convencer o cliente

Outro:  \_\_\_\_\_

Figura 3.6 - Parte 2 do inquérito: preferências dos participantes (questões 14 e 15)

16. Através de qual tipo de contato recebeu o convite para responder este inquérito? (Resposta única) \*

*Marcar apenas uma oval.*

WhatsApp (grupo)

Facebook

Instagram

LinkedIn

Twitter

Reddit

E-mail profissional

E-mail pessoal

SMS

Amigos

Ordem/Conselho profissional

Outro: \_\_\_\_\_

Figura 3.7 - Parte 3 do inquérito: forma de participação do inquérito

### 3.3 Análise dos resultados obtidos

Para dar início ao inquérito, foi feita uma espécie de censo dos participantes, onde puderam identificar onde vivem; qual sua área de atuação; nível de formação, e onde atuam. O inquérito esteve em divulgação entre junho e setembro de 2021 e obteve a adesão de 59 participantes ao todo, os quais grande parte dos participantes vivem em Portugal, seguido do Brasil e, em números menos expressivos, outros países como Irlanda, Suécia, Alemanha e Timor Leste. O gráfico da figura 3.8 mostra a distribuição dos participantes em percentagem.

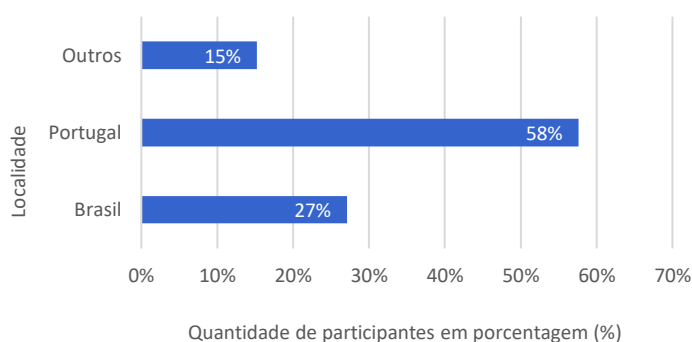


Figura 3.8 – Localização e quantitativo dos participantes do inquérito

O gráfico da figura 3.9 mostra que mais da metade dos entrevistados são arquitetos, seguido por engenheiros civis, e os outros quase 12% dos participantes possuem formações diversas em áreas complementares à construção.

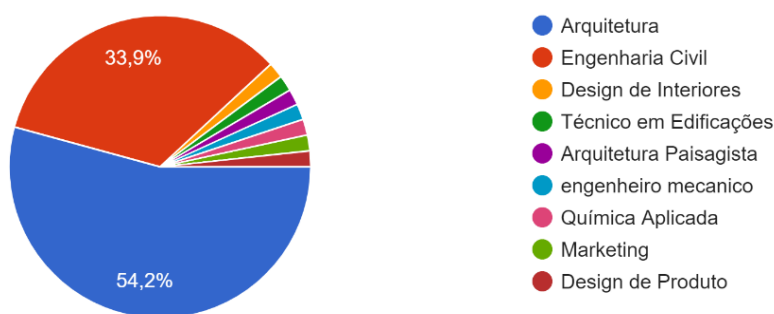


Figura 3.9 – Formação dos participantes

Foi pedido também que os participantes preenchessem um campo informando o nível de formação deles, e pode-se observar que a maioria já possui ou está concluindo algum nível de pós graduação, seguido de um grande grupo de quem tem nível superior, enquanto os níveis técnico e secundário aparecem em menor proporção (Figura 3.10).

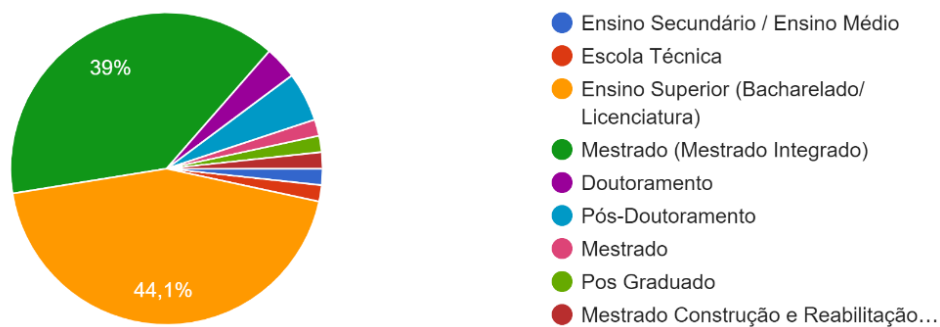


Figura 3.10 - Nível de escolaridade dos participantes

A pesquisa obteve também informações sobre como eles atuam no mercado atualmente, como mostra o gráfico da figura 3.11, mais da metade dos entrevistados atua ou já atuou em instituições privadas; seguido de profissionais liberais ou autônomos; depois aqueles que exercem função em instituições públicas, e os demais grupos hoje atuam em outras áreas, estão aposentados ou ainda não possuem experiência profissional.

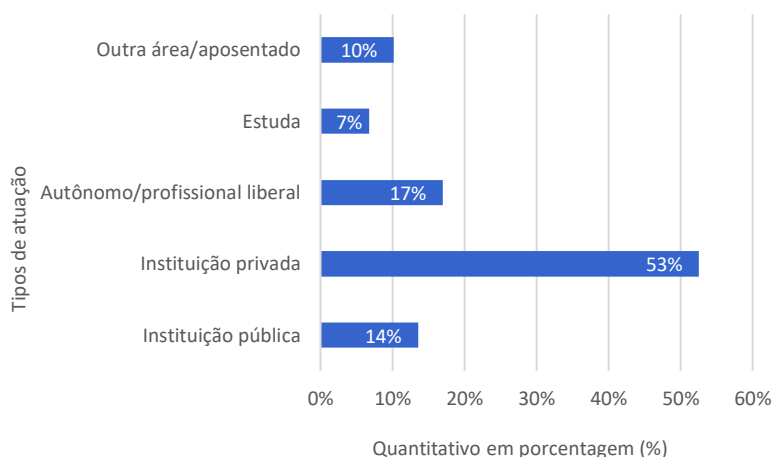


Figura 3.11 - Análise percentual da atuação profissional dos participantes

A pesquisa tinha como objetivo compreender as preferências dos profissionais em relação ao partido arquitetônico; quais métodos construtivos e materiais optam por utilizarem em seus empreendimentos, e o que os motivam a fazer essas escolhas. O trabalho procurou também identificar o nível de interesse e conhecimento que os profissionais tem sobre construção sustentável, suas técnicas construtivas e materiais disponíveis no mercado.

Inicialmente, foi perguntado aos entrevistados as razões que mais os motivam a escolher certa técnica construtiva para seus projetos ou empreendimento, e podemos observar no gráfico da

figura 3.12 que, para a maioria dos entrevistados, os tipos de técnicas e soluções construtivas; o conhecimento do uso; o custo da manutenção e a durabilidade da construção são os fatores maior e igual relevância. O fator econômico também se mostrou relevante, vindo em segundo lugar, seguido pela preocupação com o tempo de projeto e de construção. A escolha por materiais locais; uma construção que gere baixo índice de poluição e utilize materiais recicláveis, e o fator estético, são aspectos que receberam menor relevância.

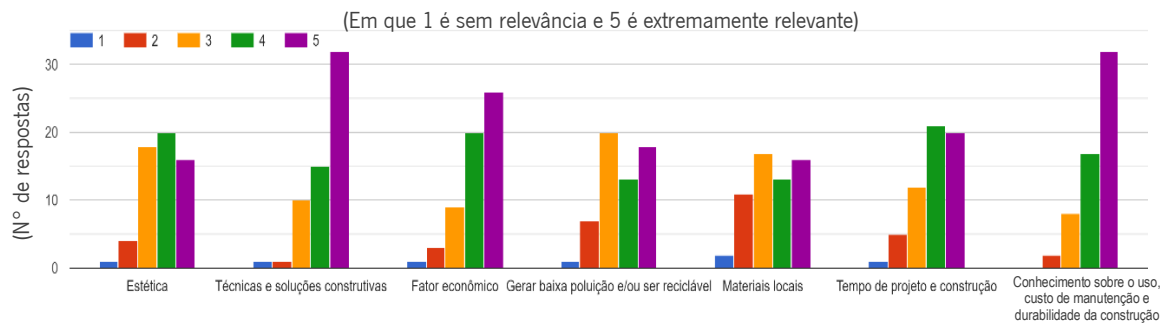


Figura 3.12 - Motivações para escolha de uma determinada técnica construtiva

Foi solicitado aos participantes que apontassem também, utilizando as mesmas opções de respostas da questão anterior, quais as motivações, em ordem de prioridade, que norteiam a tomada de decisão acerca de um novo empreendimento sob a visão de seus clientes (Figura 3.13). Pode-se observar que o fator econômico neste caso vem absoluto em primeiro lugar, seguido do valor estético, e em terceiro lugar, o tempo de duração do projeto e período de construção da obra. Fatores como custo de manutenção e durabilidade do edifício; a técnica construtiva empregada; se utiliza materiais locais, recicláveis ou se é gerador de baixa poluição ambiental, demonstram ter pouquíssima relevância do ponto de vista dos clientes.

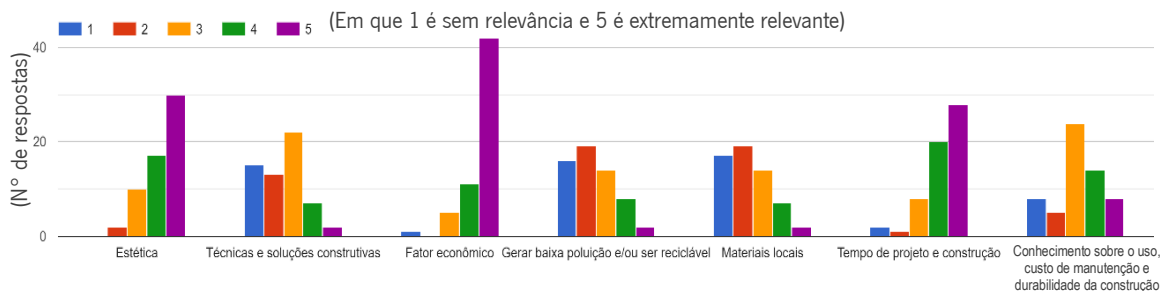


Figura 3.13 - Motivação para a tomada de decisão de um cliente

Em relação a reabilitação de edifícios, foi perguntado aos entrevistados com que frequência eles utilizam alguns materiais de valor sustentável; característica ecológica; acessíveis e econômicos. As argamassas de terra e de saibro e o sistema ETICS foram classificados, com bastante ênfase, como não sendo opções utilizadas pela maioria, enquanto o uso de "drywall" e argamassa de



cimento dividiram o primeiro lugar na preferência dos profissionais, figurando o EPS; a argamassa de cal e a madeira como opções com média relevância, como pode ser observado no gráfico da figura 3.14.

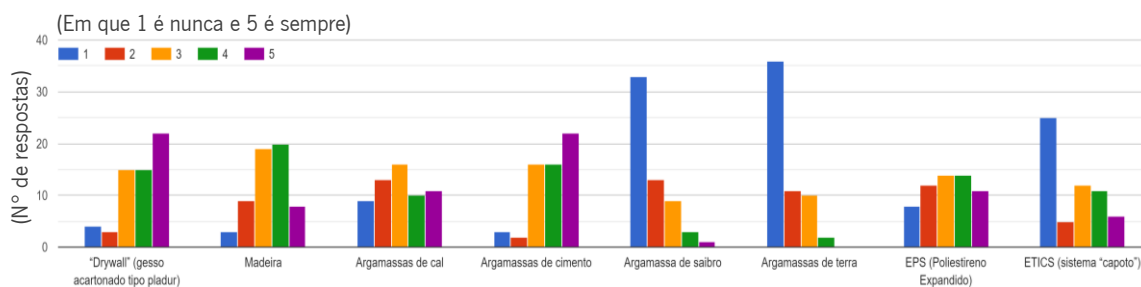


Figura 3.14 - Frequência de utilização de materiais na reabilitação de edifícios

O resultado da resposta da questão anterior mostra que pouco se sabe sobre os benefícios das argamassas de terra, por exemplo, que como material escavado ou como resíduo de demolição ou obra, mostra-se um recurso abundante, disponível em qualquer local, com baixo custo, o que denota um material de caráter econômico e ambiental muito vantajosos.

Outra opção que possui vantagens semelhantes é o saibro, material de origem natural, textura terrosa e granulação fina, assemelha-se muito à argila, até em suas características minerais. O saibro em substituição da cal em argamassas mistas, por possuir um teor de finos relativamente alto, garante boa plasticidade e trabalhabilidade à mistura, proporcionando maior aderência à argamassa, o que é uma grande vantagem frente à argamassa de cimento e areia lavada, que possui pouca “liga” e aderência. É um material que possui melhor compatibilidade com os suportes antigos, como a alvenaria de pedra, tabique e taipa de fasquio. Além disso, é um material facilmente encontrado no solo da região sul do Brasil, e nas regiões central e norte de Portugal, o que o torna uma opção econômica nessas regiões.

Na questão seguinte, buscou-se saber dos inquiridos qual nível de importância tem para eles o uso de práticas sustentáveis na construção civil. O gráfico da figura 3.15 mostra que, para quase metade dos entrevistados, lançar mão de condutas sustentáveis no momento de concepção de um novo empreendimento, ou na reabilitação de uma edificação existente, é uma atitude de extrema importância; tendo outra grande parte considerado ser relevante e de grande importância, e isoladamente apenas uma resposta que diz não ser importante ter o olhar sustentável perante a construção civil.

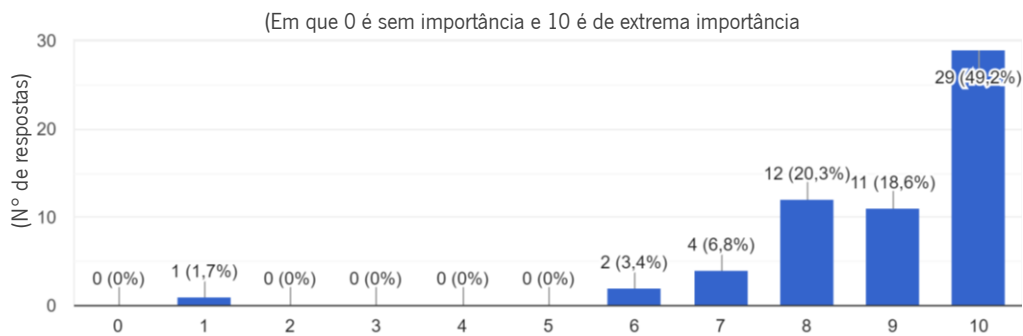


Figura 3.15 - Importância da conduta sustentável na construção

Priorizar o consumo consciente de matéria prima; definir alternativas de exploração de recursos naturais; minimizar os desperdícios com o reaproveitamento de resíduos, e encontrar novas formas de economizar e gerar energia, são atitudes sustentáveis que além de diminuir os impactos causados pela construção civil, trazem muitas vantagens aos clientes.

Os participantes foram indagados com que frequência pesquisam ou costumam ler sobre alternativas sustentáveis na área da construção (Figura 3.16), e a maioria respondeu fazer isto com alguma frequência ou às vezes; uma porção considerável disse fazer isto sempre, enquanto a minoria respondeu buscar saber mais sobre o assunto raramente ou nunca.

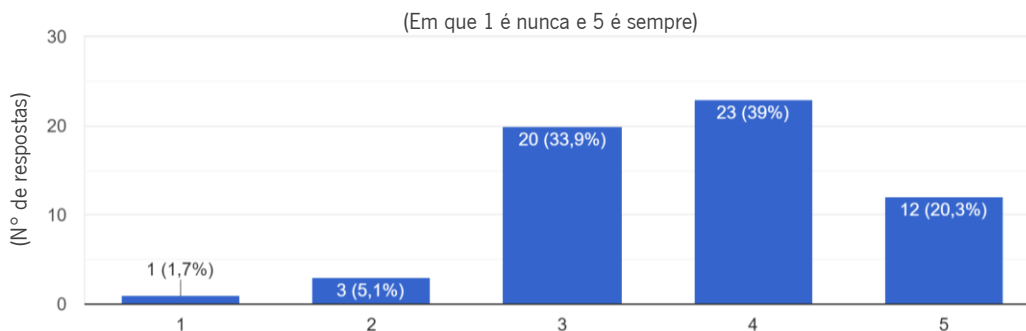


Figura 3.16 - Frequência de pesquisa sobre alternativas sustentáveis na construção

Muitas vezes não parte do cliente a iniciativa de solicitar uma proposta de projeto em que sejam inseridos valores sustentáveis e ecológicos, seja porque ele tem pouco ou nenhum conhecimento sobre o assunto, ou porque ele não consegue enxergar compatibilidade entre o uso que idealiza de uma construção e a possibilidade de que isto possa também adquirir caráter sustentável. Com base nisso, foi perguntado no inquérito, com que frequência os profissionais abordam seus clientes apresentando a eles soluções e alternativas sustentáveis aos seus empreendimentos (Figura 3.17). A resposta foi que a maioria busca apresentar propostas sustentáveis ao menos às vezes, outros

até que com alguma frequência, sendo uma minoria aqueles que apresentam raramente ou nunca uma proposta sustentável aos seus clientes.

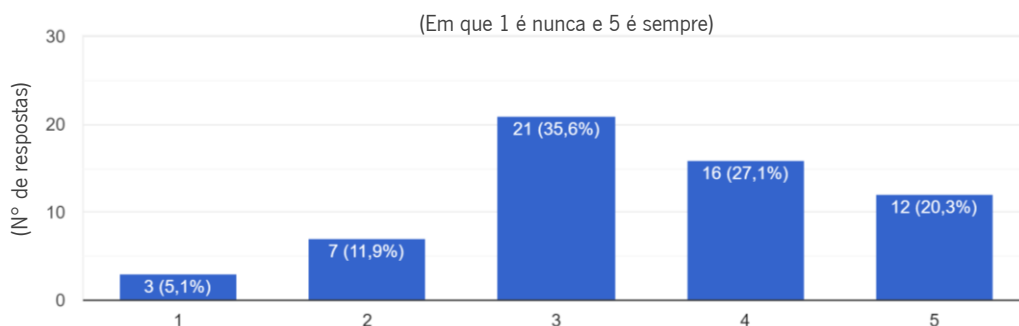


Figura 3.17 - Frequência de abordagem ao cliente com soluções e alternativas sustentáveis

Por outro lado, era importante saber o grau de aceitação do cliente a uma solução alternativa, provavelmente diferente da esperada ou do que está acostumado a experimentar, o que muito provavelmente é fruto da falta de intimidade com o assunto da parte do cliente; da falta de incentivo tanto da parte dos meios de comunicação, quanto da parte dos órgãos de fiscalização e aprovação de novas construções e reabilitações, e até mesmo da falta de conhecimento e confiança dos profissionais que irão realizar o projeto e a obra, em relação à utilização e durabilidade de alternativas sustentáveis em relação ao que costumam ver com frequência no mercado. O gráfico da figura 3.18 mostra que, segundo os inquiridos, a maior parte dos seus clientes entendem e optam por soluções sustentáveis às vezes ou raramente, seguidos à distância, e em terceira posição, pelos que dizem aceitar com frequência, ficando em minoria aqueles que dizem que a aceitação de seus clientes é sempre ou, pelo contrário, nula.

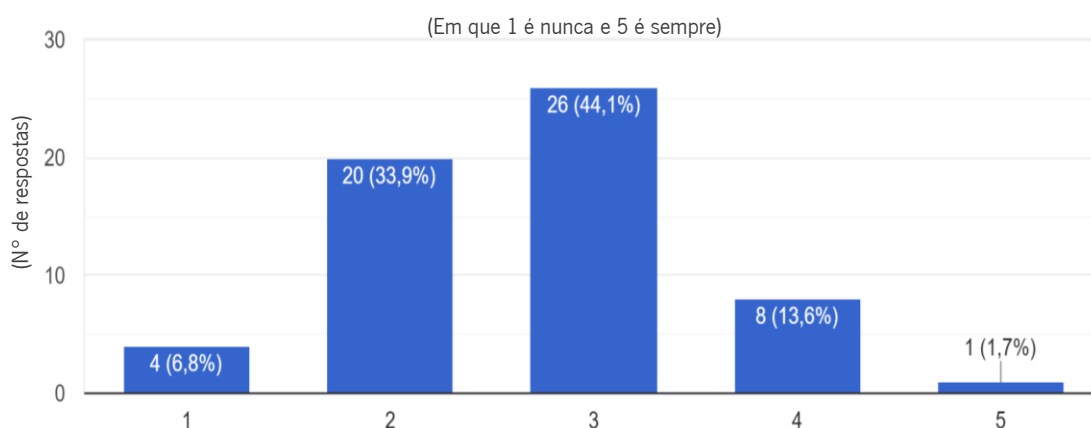


Figura 3.18 - Grau de aceitação dos clientes às alternativas sustentáveis

Um bom argumento de convencimento para um cliente é que, com a otimização dos processos, permite-se a redução de gastos, e os incentivos fiscais vem sendo cada vez mais comuns no

segmento construtivo. Outro ponto a favor, é a qualidade de vida, obtida com o uso de tecnologias sustentáveis na arquitetura, que vem se tornando cada vez mais eficientes e baratas, oferecendo ao cliente um ambiente com muito mais conforto, visto que, a edificação melhora muito em níveis acústico; térmico, e de consumo energético, além de proporcionar influência positiva sobre o meio ambiente, atendendo a exigências atuais de melhores condições climáticas.

Foi perguntado aos intervenientes quais os materiais e técnicas sustentáveis que conhecem, de forma a se obter uma ideia do nível de conhecimento dos profissionais da área da construção acerca de práticas sustentáveis e alternativas às mais comuns encontradas no mercado (Figura 3.19). De acordo com o gráfico abaixo, as construções em madeira, em terra e as coberturas verdes são as mais populares, seguidas pelas construções que utilizam materiais recicláveis, pedra natural e bambu. Em menor porcentagem aparecem as soluções construtivas utilizando polímeros, cânhamo industrial e palha, por último, e por sugestão de resposta de participantes, apresenta-se a familiaridade com placas solares e método de construção modular.

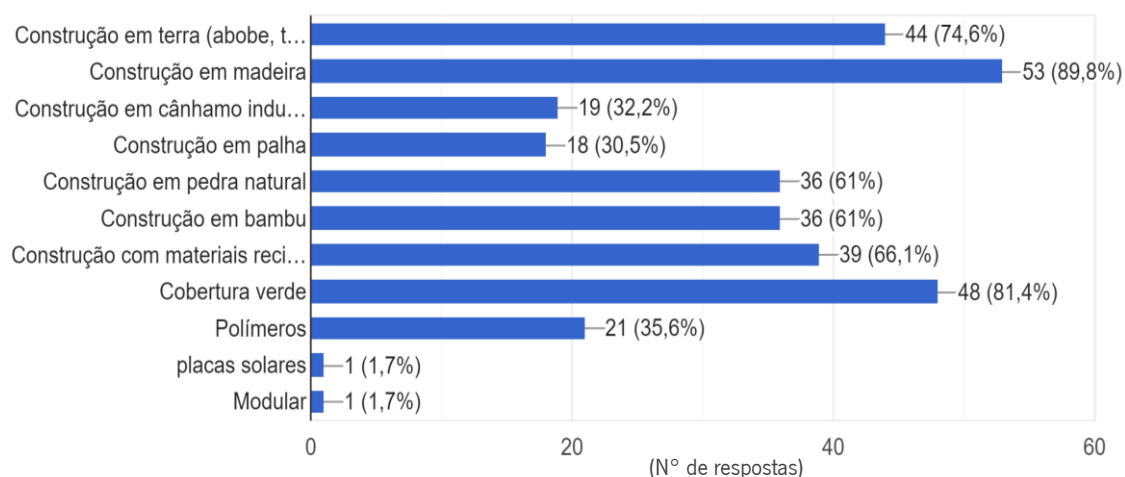


Figura 3.19 - Conhecimento de técnicas e materiais construtivos

Os intervenientes foram questionados se, caso houvesse recursos e mão de obra especializada na região onde atuam, optariam por alguma técnica sustentável em seus projetos no lugar de uma opção comum no mercado (Figura 3.20). A resposta da maioria, e em ordem decrescente, é de que sempre, muito provavelmente e provavelmente optariam por práticas sustentáveis na construção, tendo as opções de pouco provável ou nunca, zero adesão. O resultado desta questão reflete uma das maiores dificuldades do emprego de técnicas sustentáveis na construção, que é a falta de mão de obra especializada e, por vezes, o custo dos materiais em certas regiões, o que mostra que é preciso priorizar iniciativas de capacitação.

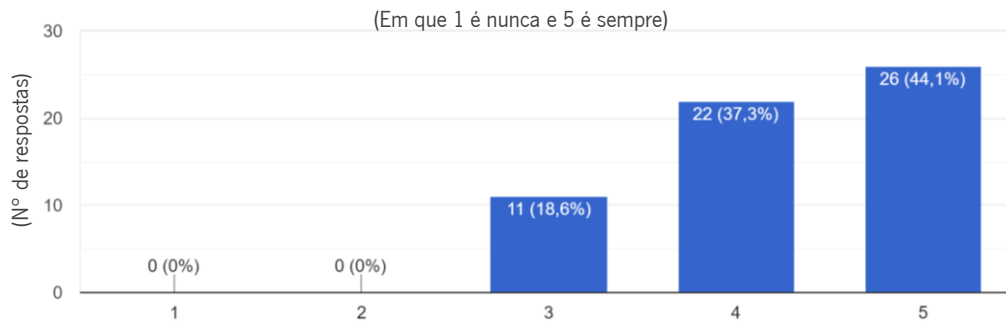


Figura 3.20 - Adesão a técnicas sustentáveis mediante recursos e mão de obra especializada

Os inquiridos foram questionados sobre quais os principais fatores que os impedem de utilizarem alguma técnica construtiva sustentável em seus projetos ou obras (Figura 3.21). A dificuldade em encontrar material e mão de obra especializada foi o fator apontado como o que mais dificulta a prática; o custo acima da média e a falta de interesse dos clientes figuram em segundo lugar; mas distante vem a falta de conhecimento sobre o assunto, que ficou em terceira posição; logo em seguida tem a preferência pelo que se encontra no mercado hoje e design e acabamento. Apenas uma pessoa comentou, como resposta adicional que nenhuma das opções seriam impedimento para a prática sustentável, o que reforça o pensamento de que é uma questão de prioridade.

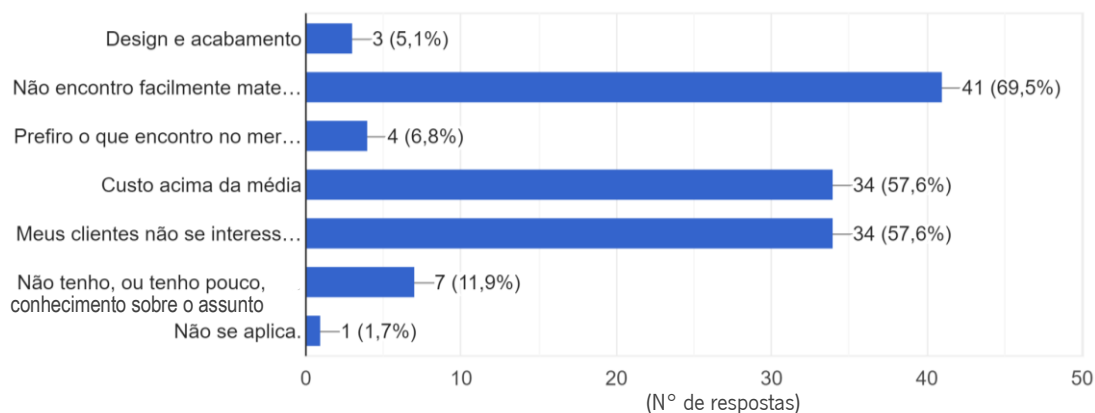


Figura 3.21 - Principais fatores que dificultam o emprego de técnicas construtivas sustentáveis

Foi perguntado aos intervenientes o que acham que falta para que a construção, de um modo geral, torne-se mais sustentável (Figura 3.22). O fator custo foi o ponto principal, seguido de falta de incentivo do governo e de legislação regulamentadora que exija tomada de decisão sustentável. Aparece como um dos mais votados também a preocupação com a informação e conhecimento sobre materiais e técnicas construtivas sustentáveis, e em seguida a preocupação com o convencimento dos clientes. Outros fatores adicionados pelos próprios participantes da pesquisa foram, a necessidade de se ter consciência coletiva; segurança e garantia da obra e maior

engajamento dos colegas em se interessarem sobre o assunto e proporem cada vez mais soluções sustentáveis aos clientes.

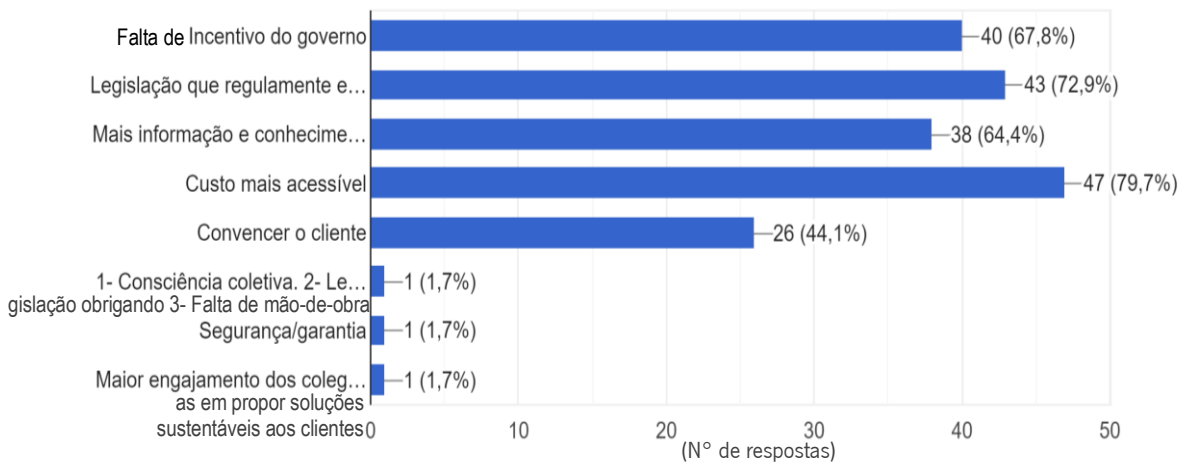


Figura 3.22 – Principais fatores que facilitariam a opção por soluções sustentáveis

Por fim, achou-se interessante saber através de qual forma de contato que o participante tomou conhecimento ou foi convidado a participar deste inquérito, desta maneira foi mais fácil de saber quais caminhos proporcionaram melhor veiculação do inquérito, e saber como se deu a propagação e a importância dada ao mesmo, além de facilitar saber os nichos dos quais são provenientes as respostas.

Total de  
59 respostas

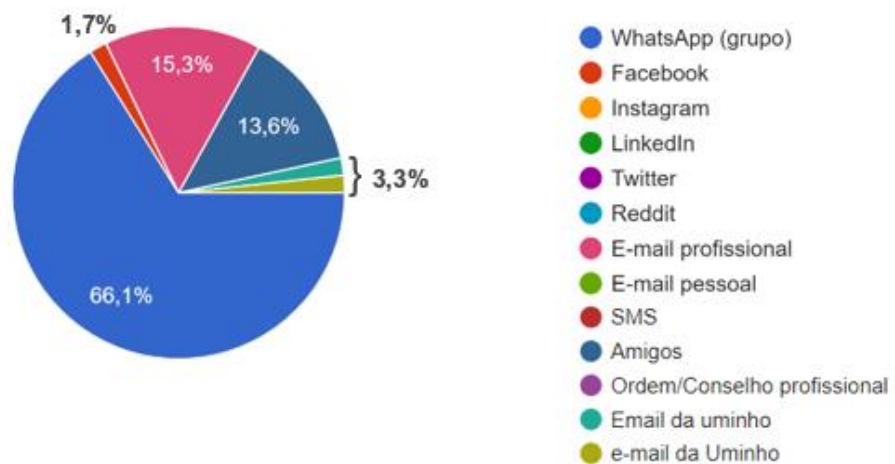


Figura 3.23 - Veículo de acesso ao inquérito

Na figura 3.23, pode-se observar que a grande maioria das respostas, 66,1%, são contatos feitos diretamente pela autora através de grupos de estudo e contatos profissionais através de aplicativo de contato; 3,3% é proveniente de *mailing list* enviado para instituição de educação superior, das

quais só se obteve alcance de uma; o restante das respostas podem ser provenientes da divulgação do inquérito entre os contatos.

### 3.3.1 Considerações

Com as informações recolhidas neste inquérito, foi possível identificar as tendências dos profissionais inquiridos quanto às escolhas que fazem ao elaborar um projeto ou abordar um cliente. Os fatores que norteiam seus passos são quase sempre os mesmos: acesso a certos tipos de materiais comumente encontrados no mercado; custo dos materiais e mão-de-obra; conhecimento técnico e ainda o fator estético.

O nível de adesão ao inquérito foi relativamente baixo comparado ao número de contatos iniciais feitos diretamente pela autora, cerca de pelo menos 300 contatos, excluindo mailing lists das universidades, onde não se há conhecimento do número de alcance. Em todos os casos foi solicitada a colaboração do público alvo com sua participação e a propagação do inquérito o máximo possível. Os números podem estar relacionados à falta de interesse em aderir esse tipo de pesquisa, como também à desvalorização do tema proposto por parte do público alvo.

Um estudo do CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, Estudo de Mercado e Inovação sobre Materiais para a Construção Sustentável (2012), que pesquisou o mercado e a inovação dos materiais para uso na construção sustentável, mostrou que há quase dez anos atrás o mercado de construção sustentável era recente e tinha perspectivas de crescimento na Europa nos anos seguintes, devido principalmente à procura de materiais de construção sustentáveis que proporcionassem economia energética nas novas construções e reabilitações. O estudo do CTCV, comparado ao resultado do inquérito do presente trabalho, não mostra diferenças significativas, revelando que a cultura da construção sustentável ainda parece estar no seu alvorecer, que de lá para cá ainda não ocorreu uma conscientização em massa e a mudança concreta de paradigmas, todo novo dia parecendo um assunto a ser tratado amanhã, gerando ainda muitas dúvidas e especulação, com sensíveis mudanças ocorrendo mais especificamente onde é possível se obter uma economia financeira imediata, apenas. Até mesmo alguns participantes do inquérito do presente trabalho expuseram suas opiniões de que falta ainda consciência coletiva; engajamento dos profissionais da área da construção, e medidas mais rígidas como legislação que obrigue a aplicação de soluções sustentáveis e ecológicas.

## 4 AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO EM TERRA

### 4.1 Introdução

Buscando o entendimento da trabalhabilidade, características e performance da construção em terra e também experienciar os princípios básicos deste tipo de construção, foi feito um estudo no laboratório de materiais do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, campus de Guimarães, onde foram produzidas amostras de técnicas construtivas em terra, para que pudesse ser analisado seu comportamento e durabilidade face à exposição da água através de simulação de chuvas e resistência à compressão.

Uma pesquisa na literatura foi feita para que apontasse quais as técnicas de construção em terra mais populares, o resultado foi a escolha de uma técnica tradicional, a taipa, e uma outra considerada contemporânea, o BTC. Primeiramente foi feita a caracterização do solo para a identificação das suas características e sinalizar a necessidade de adequação do mesmo com a finalidade de realização dos experimentos, o que se veio a verificar.

Num segundo momento, o solo foi preparado em quantidade suficiente para a produção de todos os provetes e foi feito um planeamento para produção de BTCs e provetes de taipa com diferentes materiais ligantes, adições e revestimentos, para se poder avaliar o seu desempenho considerando diferentes opções construtivas. Por fim, os provetes foram submetidos a diversos ensaios de durabilidade: erosão acelerada por jato d'água; verificação de perda de resistência mecânica por compressão; análise qualitativa visual e com paquímetro, e análise de vazios por ultrassom. As imagens presentes neste capítulo que não possuem identificação do autor ou origem, são todas do acervo da própria autora.

### 4.2 Materiais utilizados

#### 4.2.1 Solo

Para eleger o solo mais adequado para uma construção, é preciso que se obtenham amostras representativas desse solo e em quantidades suficientes para a prática de todos os testes e ensaios necessários. Os ensaios de caracterização podem ser subdivididos em ensaios a serem realizados em campo, fazendo assim uma primeira seleção do material, e posteriormente em ensaios em laboratório, com a realização de procedimentos normalizados. O desempenho do solo deve ser



avaliado de forma a se identificar suas características e a necessidade de estabilização, já que nem todos os solos estão prontamente aptos para a construção.

O solo é caracterizado pelos seus componentes: argila, silte, areia e cascalho. A argila tem o papel de elemento de ligação entre todas as partículas maiores, assim como o cimento em relação ao betão. As propriedades do silte, da areia e do cascalho são totalmente distintas às da argila. Estes são apenas agregados que não possuem nenhuma força de ligação e são formados a partir de rochas desgastadas, apresentando arestas e cantos afiados, ou pelo movimento das águas, quando possuem formas arredondadas (Minke, 2006).

O solo utilizado neste estudo foi cedido pela Universidade, tem procedência da região do Minho, e foi caracterizado através dos testes e ensaios relacionados abaixo. Logo no primeiro contato, observação e testes de campo, foi possível perceber que ele apresentava característica muito áspera e arenosa, com pouca plasticidade, o que mostrou necessidade de correção de partícula argilosa para que se tornar-se utilizável para os experimentos de construção em terra, e neste processo foi acrescentado certo teor de caulino. O solo utilizado foi caracterizado através dos seguintes testes:

#### 4.2.1.1 Ensaios de campo

Ensaios de campo sugeridos pelo CRAterre permitem tirar algumas conclusões preliminares sobre o tipo de solo disponível e se dividem em dois grupos: ensaios sensoriais e ensaios preliminares de qualidade. Os ensaios sensoriais correspondem a uma abordagem inicial, que permite a caracterização do solo através dos sentidos, como a observação da cor; cheiro; gosto e toque. Os ensaios preliminares de qualidade já exigem experimentação e permitem um nível mais avançado de avaliação do solo, a partir da sedimentação; coesão; aderência; brilho e teste de rolo (Ferreira, 2015).

- **Observação da cor**

Os solos que possuem a cor escura são normalmente em razão da presença de matéria orgânica, característica do solo superficial; os solos de cor pálida são resultado da presença de areias quártzicas ou feldspáticas, e os solos de cor vermelha são relacionados a altos níveis de óxidos de ferro (Ferreira, 2015).

De tonalidade clara, amarelada e partículas brilhosas, o solo indicava predominância arenosa. Segundo Ferreira (2015), os solos pálidos são o resultado da presença de areias feldspáticas e quartzíticas (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Solo utilizado nos estudos em laboratório

- **Teste do tato**

No teste de tato, ao se esfregar as mãos no solo e o mesmo arranhar, é sinal de que é um solo rico em areia; se a sensação for de maciez ao se esfregar os dedos, então o solo é rico em silte e argilas (Silva, 2018). Na avaliação visual do solo estudado percebeu-se facilmente a grande presença de finos, a sensação um pouco áspera que causou no contato com as mãos, demonstrou ser um solo abundante em silte e areia fina, pela cor clara, com presença de cascalho pelo aspecto brilhoso, como o solo é reconhecido em sua região, e pouca argila.

- **Identificação do odor**

Se o solo apresentar odor intenso de húmus, indica a presença de matéria orgânica, e é mais intenso à medida que há aumento de temperatura e umidade (Ferreira, 2015). O solo estudado não apresentou odor intenso de húmus, o que significa que a presença de matéria orgânica era nula ou muito baixa.

- **Teste do rolo**

O teste consiste em umedecer uma quantidade de solo, ao ponto de ser possível, com o uso das mãos sobre uma superfície lisa, formar um rolo cilíndrico com cerca de 2,5cm de diâmetro e entre 20cm a 30cm de comprimento. Depois com as mãos mesmo, empurra-se o cilindro em balanço para fora da borda da mesa até que se parte o primeiro pedaço (troço). Ao medir este troço

destacado e ele tiver comprimento inferior a 5cm, constata-se que o solo tem pouca argila; se obtiver entre 5cm e 15 cm, significa que é um solo com quantidade de argila recomendada para construção, e se obtiver comprimento superior a 15cm, é porque o solo possui excesso de argila (Ferreira, 2015).

Para a realização do teste no solo estudado, foi feito com as mãos um rolo de aproximadamente 30cm de comprimento e 2,5cm de diâmetro, que depois foi empurrado para a borda da superfície, de forma que o mesmo partisse em seções que depois seriam medidas. Nos primeiros testes obteve-se troços que se destacaram apresentando comprimento inferior a 5cm, sendo necessário a adição de material argiloso, quando foi adicionado caulino pouco a pouco no solo.



Figura 4.2 – Testes de rolo em laboratório

(1- Troços com comprimento inferior a 3cm; 2- confecção do rolo, e 3- troços com comprimento inferior a 5cm)

Na figura 4.2 à esquerda são pedaços do rolo que se destacaram com menos de 3cm de comprimento, quando o solo úmido não havia recebido complemento de caulino, então, aos poucos se introduziu maiores porções de caulino, afim de se obter maior plasticidade da massa. Primeiramente foi introduzido 5% de caulino e refeito o teste, o que ainda não possibilitou alcançar o resultado pretendido, como mostra a imagem da direita na figura acima.



Figura 4.3 – Teste de rolo do solo com 8% de caulino

Ainda foi testado o solo com 7% de caulino, os resultados foram melhores, mas como ainda apresentava baixa regularidade ao atingir os 5cm mínimos, a adição final de caulino chegou a 8%,

quando o solo apresentou resultados mais regulares ao atingir os requisitos ideais de comprimento do teste (Figura 4.3).

Cada aumento da porção de caulino ao solo foi testado três vezes, ou seja, foi feito o rolo, e empurrado pela borda da superfície para serem obtidos o maior número de seções de comprimento igual ou maior do que 5cm e menores do que 15cm. Veja a tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Teste de rolo do solo estudado com 8% caulino

<b>Teste de rolo - solo com 8% caulino</b>			
Rolo de Ø 2.5cm e comprimento de 30cm aprox.			
<b>Seções</b>	<b>Teste A (cm)</b>	<b>Teste B (cm)</b>	<b>Teste C (cm)</b>
<b>1ª</b>	5.50	5.50	7.00
<b>2ª</b>	6.00	4.50	4.50
<b>3ª</b>	7.00	8.00	8.50
<b>4ª</b>	10.00	11.00	9.00

Em cada teste o rolo partiu-se em quatro seções com comprimento majoritariamente superior a 5cm, tendo apenas duas seções obtido valores de 4.50cm, cada. Com este resultado, admitiu-se que o solo havia adquirido quantidade suficiente de material argiloso para sua utilização na fabricação dos provetes de taipa e dos BTCs.

- **Sedimentação simples**

Para a realização deste ensaio é preciso utilizar um frasco com capacidade de 1l - que seja de preferência alongado, como uma garrafa - enche-se até um quarto da sua capacidade com solo e o restante deve ser completado com água (Figura 4.4). Depois deve-se agitar vigorosamente todo o conteúdo e deixar repousar por 1h, repetindo o procedimento por mais duas vezes. Posteriormente deve-se medir a espessura das camadas de areia, silte e argila, em seguida é possível calcular a proporção de cada elemento da amostra (Ferreira, 2015).

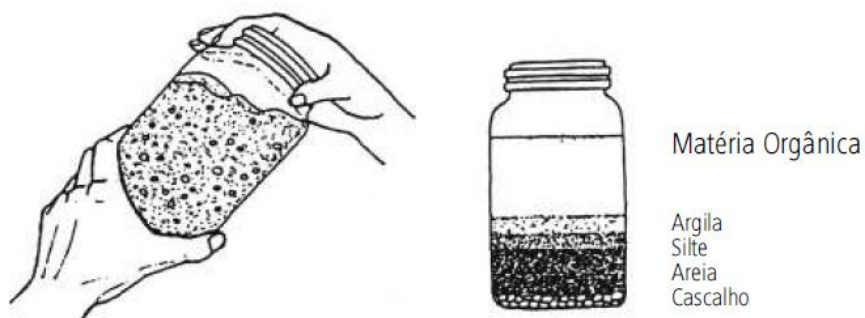


Figura 4.4 – Ensaio de sedimentação simples  
(Fonte: Minke, 2006)

Este ensaio foi realizado após ter sido constatada, através das análises preliminares anteriores e do teste de rolo, que era necessário adição de argila, para ser adequado aos estudos posteriores que se pretendia, para isso, foi feita a adição de 8% de caulino ao solo.



Figura 4.5 – Ensaio de sedimentação simples do solo estudado  
(1- Resultado do teste de sedimentação após 1h, e 2- após 24h)

Para a realização deste ensaio, foi utilizada uma garrafa plástica onde foi colocada uma porção do solo, depois preenchida com água, depois o solo foi bem misturado à água e colocado para descanso. Após 1h foi possível ver a separação nítida dos grânulos em duas partes, como mostra a figura 4.5, e a verificação foi feita mais duas vezes a cada hora, e as porções de diferentes granulometrias sofreram algumas alterações ao passar do tempo, como mostra o gráfico abaixo. Foi repetido o ensaio e desta vez a espera para avaliação e medição dos grânulos foi de 24h, o resultado foi a segregação das camadas granulométricas que compõem o solo em quatro partes, como mostra a imagem acima da direita. Acima dos níveis de terra se pode notar alguns pouquíssimos vestígios escurecidos de matéria orgânica.

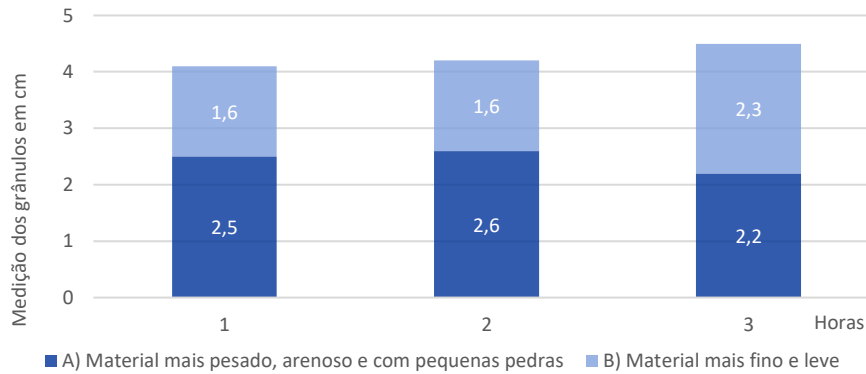


Figura 4.6 - Análise do solo por sedimentação simples durante as 3 primeiras horas

Observa-se que na primeira e na segunda horas, as porções contendo material mais pesado eram maiores, quando ainda estavam misturados aos finos e estes últimos não haviam assentado por completo (Figura 4.6).

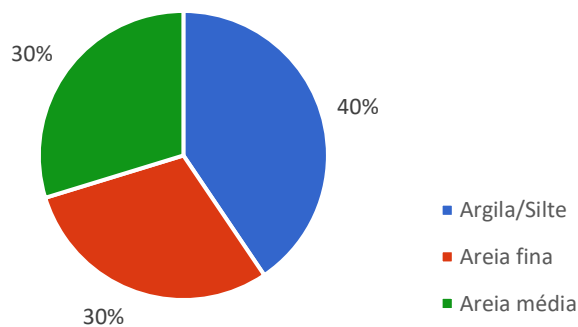


Figura 4.7 – Análise do solo por sedimentação simples após 24h de repouso

A análise do solo após 24h de repouso proporcionou um resultado visual mais fracionado, quando os grânulos se dividiram em 4 camadas visíveis, uma mais fina por cima obtendo predominantemente de silte contendo argila (8% de caulino), as duas intermediárias de areias finas, uma bem fina e mais escura e outra de graus maiores e cor mais clara, e no fundo a areia média. O gráfico da figura 4.7 apresenta, em porcentagem, a presença de cada uma das partes nesta porção de solo.

- **Teste de queda da bola**

Minke menciona em seu manual este teste que consiste em a terra o mais seca possível, mas suficientemente úmida a ponto de ser possível amassar uma bola com 4cm de diâmetro, depois deve-se deixá-la cair de uma altura de 1,5m sobre uma superfície lisa e observar o resultado, como na figura 4.8 (Minke, 2006).

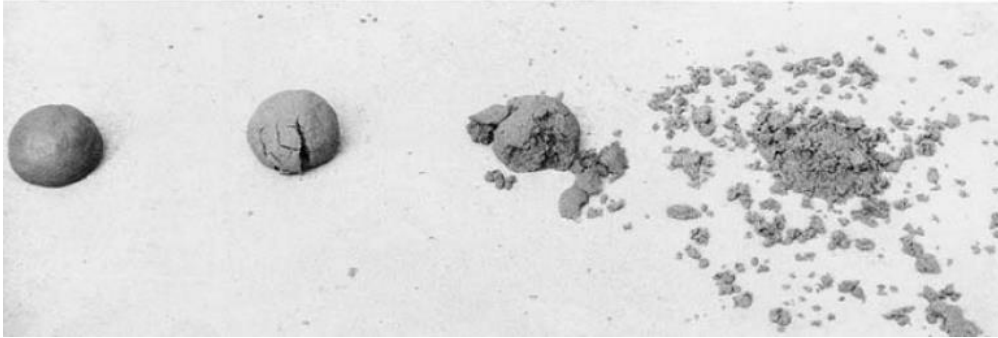


Figura 4.8 - Teste de queda da bola  
(Fonte: Minke, 2006)

Se o resultado do teste for semelhante à bola da direita, é sinal de que a quantidade de argila é muito baixa no solo, e sua força de ligação é insuficiente e por isso não está apta para o uso na construção; se o resultado for como o segundo exemplo, a contar da direita pra esquerda, a mistura tem uma ligação relativamente pequena, mas provavelmente suficiente para ser utilizada em adobe e taipa (Minke, 2006). Este ensaio foi utilizado durante o preparo das misturas de solo para se certificar de suas características, segundo a técnica.

#### 4.2.1.2 Ensaio em laboratório

Para os ensaios em laboratório é necessária uma amostragem do material a ser analisado para obter-se resultados expressivos sobre o solo que se pretende utilizar. Estes ensaios exigem procedimentos que devem estar de acordo a normas em vigor.

- **Teor de água**

Este ensaio serve para comparar a massa de uma amostra de solo antes e depois de secar numa estufa à temperatura de 105°C (Torgal & Jalali, 2010).



Figura 4.9 – Cápsula com solo estudado para medição de teor de água

Foi feita a medição de teor de água do solo original (Figura 4.9). Considerando o peso de 10,8g da cápsula, o solo foi pesado primeiramente ainda úmido e colocado na estufa por 10 minutos à 105°C, quando foi pesado novamente (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Teor de água do solo estudado original

Teor de água do solo		
Solo com água	Solo seco	Teor água (%)
30,58g	29,52g	-3,5%

O teste mostrou que o solo tinha aproximadamente 3,5% de umidade.



Figura 4.10 - Adição de caulino ao solo

Após a medição do teor de água, foi acrescentado 5% de caulino ao solo, afim de que se equilibrasse a composição do mesmo (Figura 4.10). Depois de bem misturada a nova composição do solo, o mesmo foi passado pelo repartidor para ser separada a porção a ser utilizada nos ensaios posteriores (Figura 4.11).



Figura 4.11 - Solo no repartidor



- **Matéria orgânica**

A quantificação da matéria orgânica presente no solo envolve o aquecimento da amostra a uma temperatura de 400°C, de forma a calcinar a matéria orgânica e por diferença de massas conhecer a quantidade de material calcinado (Torgal & Jalali, 2010). Não foi necessário fazer este ensaio no solo estudado, que não mostrava sinais de ter muito material orgânico em sua composição.

- **Análise granulométrica**

Consiste na identificação das porcentagens de massa da fração arenosa do solo acima de 0.074mm (peneira n°200 ASTM), obtidas por peneiração através de uma série de peneiras normalizadas. Para a identificação das frações abaixo dos 0,074mm correspondentes aos siltes e argilas, utiliza-se o ensaio de sedimentação (LNEC E 196, 1966).

Para a análise, uma porção dos finos do solo recebeu 100g de antifloculante, acrescentado ao solo que foi lavado minuciosamente com água destilada usando a peneira de n°200 (75microns). Depois o solo foi vigorosamente misturado durante um minuto, e colocado para descansar, a partir daí passou-se a medir a densidade e a temperatura da mistura nos primeiros 30", a cada minuto nos primeiros 2 minutos, e depois diminuindo a frequência de verificação para 5', 15', 30', 60', 250', 24h e 48h (Figura 4.12).



Figura 4.12 - Procedimentos do ensaio de granulometria por sedimentação

(1- Peneiração por lavagem; 2- mistura do solo com líquido no provete, e 3- medição de temperatura)

- Limites de consistência

Os limites de consistência são constantes físicas que permitem inferir para a fração de solo inferior a 0.4mm, o seu comportamento na presença de água. Os limites de consistência determinados pela norma NP 143-1969 (IPQ, 1969), compreendem o limite de liquidez (LL), o limite de plasticidade (LP), o índice de plasticidade (Ip) que é obtido pela diferença numérica entre os dois limites anteriores (LL-LP) e ainda o limite de retração (LR) (Torgal & Jalali, 2010).

Foram testados os limites do solo estudado com 5% de caulino. Primeiramente o solo passou pela peneira de nº 20, e foram reservadas 100g de solo para o ensaio (Figura 4.13).

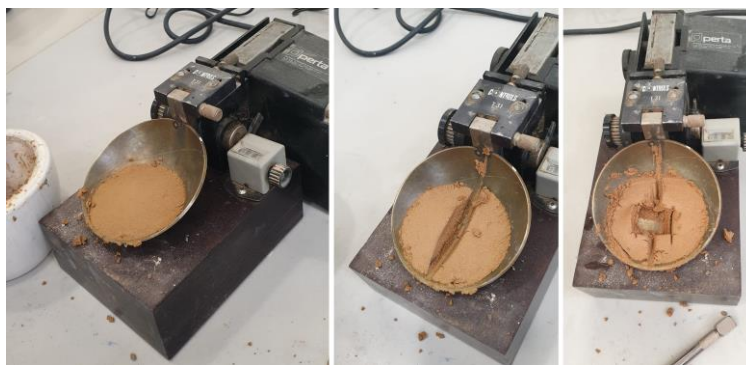


Figura 4.13 - Ensaio de limites de consistência

O limite de liquidez (LI) corresponde ao teor de água do solo, correspondente a 25 pancadas, obtido pela interpolação de uma curva que relaciona o teor em água em 4 provetes da amostra com o número de pancadas para o qual as bordas inferiores de um sulco aberto em um provete se unem numa extensão de 1cm (Figura 4.14).

Limite de plasticidade de um solo (Lp) é a média dos teores em água de 4 provetes de amostra, cada um com o máximo teor em água com que rompe cada provete, ao formar-se um filamento cilíndrico com cerca de 3mm de diâmetro, por rolagem na palma da mão ou placa de vidro.

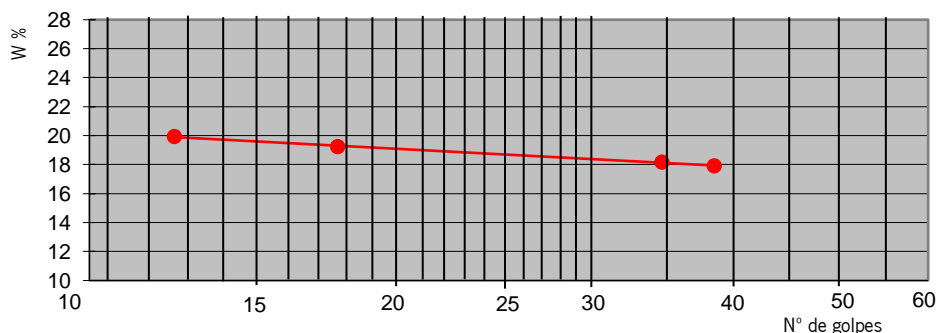


Figura 4.14 – Curva da relação entre o teor de umidade e o número de golpes

Através do limite de liquidez e do limite de plasticidade é possível calcular o índice de plasticidade (IP), dado pela expressão  $IP=LL-Lp$ . A partir deste índice, é possível calcular o índice de atividade, a classificação de solos, o potencial de retração e, por último, o teste de atividade das argilas (Gomes, 1988 *apud* Silva, 2018).

Tabela 4.3 – Resultados do ensaio de limites em porcentagem

Resumo dos resultados (%)		
	Resultados obtidos no solo estudado	Intervalos recomendados (Doat et al., 1979)
Limite de liquidez LL	18,5	30 a 35
Limite de plasticidade Lp	12	12 a 22
Índice de plasticidade $Ip= LL-Lp$	6,5	7 a 18

Segundo a classificação de plasticidade dos solos, em função do Índice de plasticidade ( $I_p$ ), o solo estudado é considerado um solo de plasticidade fraca, visto que o resultado de Índice de plasticidade obtido é de 6,5, quando o recomendado é entre 7 e 18. O Limite de liquidez ( $L_L$ ) está bem abaixo do recomendado, enquanto o Limite de plasticidade ( $L_p$ ) apresentou resultado mínimo recomendado (Tabela 4.3).

Tabela 4.4 - Índice de plasticidade dos solos

Tipo de loma	LL (%)	LP (%)	IP = LL - LP
arenosa	10 - 23	5 - 23	< 5
siltosa	15 - 35	10 - 25	5 - 15
argilosa	28 - 150	20 - 50	15 - 95
Bentonita	40	8	32

Ainda é possível determinar o tipo de solo, e de acordo com o Índice de Plasticidade dos Solos de Voth (1978) *apud* Minke (2006) apresentado no quadro acima, com os resultados obtidos nos limites de consistência, o solo estudado é do tipo **siltoso** (Tabela 4.4).

- Granulometria do solo com 5% de caulino

Foi realizada a granulometria do solo com 5% de caulino, como mostra o gráfico da figura 4.15.

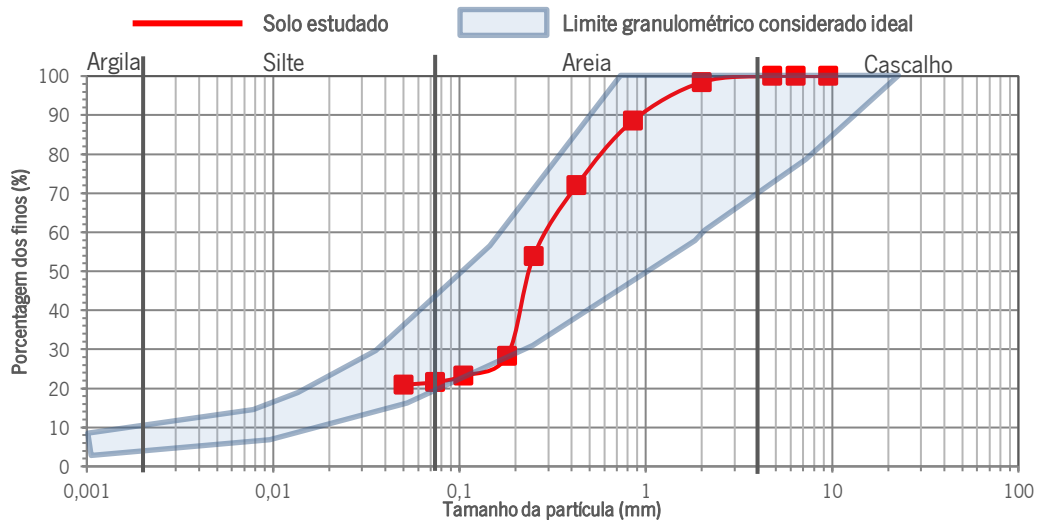


Figura 4.15 - Comparativo granulométrico do solo com 5% caulino

O gráfico mostra que o solo está dentro da área de abrangência do limite granulométrico ideal. Mas em razão de características analisadas anteriormente, optou-se por adicionar mais 3% de caulino. A porcentagem de solo peneirado úmido não foi possível ser avaliado.

- **Granulometria do solo com 8% de caulino**

Após os resultados dos ensaios anteriores, quando foi sinalizada a necessidade de se agregar mais caulino ao solo, obtendo-se uma boa plasticidade da massa aos 8% de caulino, repetiu-se o ensaio de granulometria do solo para o conhecimento de como ficou a granulometria desta nova composição, o resultado pode ser visto nas tabelas e gráficos que seguem abaixo.



Figura 4.16 - Imagens do processo de ensaio de granulometria por sedimentação (1- Peneiração; 2- mistura da solução; 3- Peneiração úmida, e 4- densímetro)

O solo foi peneirado primeiramente com a peneira de nº 4 (4.75mm) para a retirada de pedras maiores, depois passou pela peneira de 2mm para a separação dos grossos e finos. Estes últimos

foram submetidos à análise granulométrica por peneiração, utilizando um conjunto de peneiras, o que ficou retido na última peneira de baixo recebe 100g de antifloculante e é levado para a misturadora. Depois passa por peneiração úmida utilizando a peneira de 75 microns, quando o solo é lavado com água destilada, e após ser peneirado, o conteúdo do provete é vigorosamente agitado por cerca de um minuto, e quando é colocado sobre a superfície, inicia-se a série de medições de densidade - igualmente ao ensaio de granulometria do solo com 5% mostrado anteriormente - utilizando o densímetro, e a temperatura é medida com a ajuda de um termômetro de líquidos (Figura 4.16).

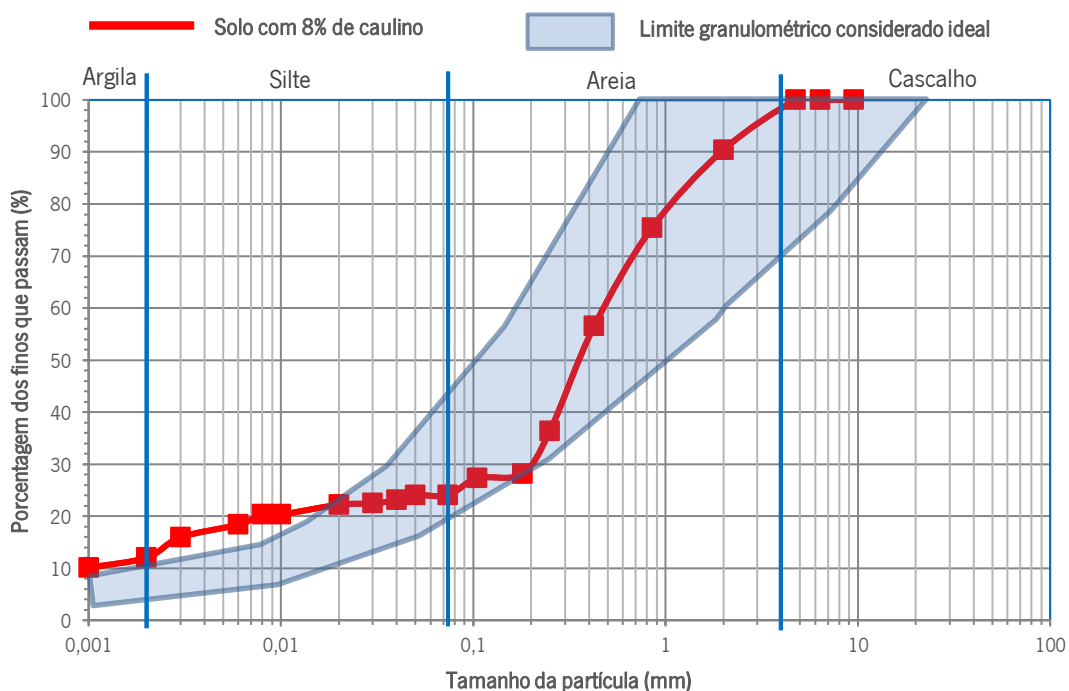


Figura 4.17 – Comparativo granulométrico do solo com 8% de caulino

A figura 4.17 mostra a comparação entre a curva granulométrica do solo estudado com adição de 8% de caulino, representado a vermelho, com a área que abrange as proporções ideais dos grânulos, representado a cinza. Observa-se que a curva do solo se porta bem nos limites ideais de solo para a construção, com apenas os grânulos mais finos se mostrando levemente acima do limite e a argila com valores limitrofes. O resultado mostra uma curva granulométrica que atende os parâmetros granulométricos ideais de solo para construção.

#### 4.2.2 Agregados

Apenas em casos especiais é necessário modificar as características do solo, pois aditivos que melhoram certas propriedades podem piorar outras. Há diversos tipos de aditivos, que atuam de maneiras distintas, mas todos com a finalidade de melhorar as características do solo.

##### 4.2.2.1 Brita

A adição de areia ou agregados maiores a um solo, reduz a porcentagem de argila e silte, e conseqüentemente o seu teor de contração. No caso do solo estudado, foi adicionada uma porcentagem de brita fina (até 10mm) ao solo preparado para a produção dos provetes de taipa.

##### 4.2.2.2 Caulino

Neste estudo foi utilizado o caulino a 8% do solo, que é uma argila mineral muito usada na fabricação de produtos cerâmicos, é constituída sobretudo por caulinita, ou disilicato de alumínio hidratado  $Al_2 Si_2 O_5(OH)$ , sendo formada a partir de rochas ricas em sílica e alumina como, as graníticas ou feldspáticas, e é, pela sua constituição, um material mais refratário do que qualquer outro tipo de argila referência (C. F. Gomes, 1988). No estudo foi utilizado um caulino claro, de tom amarelado, Mibal-A, de origem sedimentar, que é moído, lavado com hidrociclone e posteriormente seco na fábrica. O material é proveniente da empresa Mibal, mina de extração de caulino e agregados, como areia e brita.

#### 4.2.3 Materiais ligantes

Neste estudo foram empregues os tipos mais comuns de estabilizantes utilizados na construção em terra: o cimento e a cal. A adição de cimento e cal, normalmente com a intenção de aumentar a resistência do solo aos elementos, em muitos casos também aumenta a resistência à compressão. Contudo, a resistência à compressão também pode ser diminuída pelo uso destes mesmos aditivos, principalmente quando usados em quantidades inferiores a 5% (Minke, 2006). Isso porque estes materiais interferem na força de ligação dos minerais da argila. Quanto maior o teor de argila, maior deverá ser a quantidade de cimento ou cal a ser adicionada. Segundo Minke (2016), testes mostraram que a cal é mais eficiente como estabilizante em solos ricos em argila, enquanto o cimento oferece melhores resultados com solos magros (pobres em argila).

##### 4.2.3.1 Cimento

O cimento atua como um estabilizante à prova de água, principalmente em solos com baixo teor de argila. É um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que, quando

misturado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece devido a reações e processos de hidratação e que, depois do endurecimento, conserva a sua resistência mecânica e estabilidade mesmo debaixo de água. Neste estudo foi usado um cimento portland de calcário CEM II/A-L 42,5R, certificado conforme a NP EN 197-1 (2001). Seus constituintes são: entre 80% a 94% de clínquer; 6% a 20% Calcário, e sulfato de cálcio regulador de presa. Há recomendação de uso em solo cimento na ficha técnica do material (CIMPOR, 2019).

#### 4.2.3.2 Cal hidratada

O hidróxido de cálcio, cuja fórmula molecular é o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , pertence a classe das bases e é também chamado como cal hidratada, cal apagada ou ainda cal extinta. O termo cal é utilizado para uma série de produtos que são obtidos através da calcinação do calcário. Na figura 4.18 está a ficha de desempenho do material utilizado neste estudo, declarado pela própria fabricante, Lusical, de Alcanade, Portugal.

Características essenciais	Desempenho
CaO+MgO	≥ 90 %
MgO	≤ 5 %
CO <sub>2</sub>	≤ 4 %
SO <sub>3</sub>	≤ 2 %
Cal livre	≥ 80 %
Tamanho das partículas, resíduo a 0,2 mm	≤ 2 %
Tamanho das partículas, resíduo a 0,09 mm	≤ 7 %
Água livre	≤ 2 %
Estabilidade (método de referência)	≤ 2 mm
Penetração	> 10 mm - < 50 mm
Teor de ar	≤ 12 %

Figura 4.18 - Características e desempenho técnico da cal hidratada

#### 4.2.3.3 Cal viva

A cal viva, ou óxido de cálcio é uma substância inorgânica pertencente à classe dos óxidos (compostos constituídos por apenas 2 elementos, binários, onde o mais eletronegativo é o oxigênio) e possui a fórmula química  $\text{CaO}$ . Este se apresenta na forma de um sólido branco, sendo pouco solúvel em água (temperatura ambiente). Ao reagir com água, forma uma soluções aquosa com pH em torno de 12,8, em função da formação da  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , sendo por isso considerado um óxido básico. Neste trabalho foi utilizada a cal viva micronizada da marca Maxical, que declara a ficha abaixo de desempenho do material.

Caraterísticas essenciais	Desempenho	Especificações Técnicas harmonizadas
Granulometria	P2	EN 459-1:2010
CaO + MgO	≥ 90	
MgO	≤ 5	
CO <sub>2</sub> *a)	≤ 4	
SO <sub>3</sub>	≤ 2	
Cal Disponível	≥ 80	
Reatividade	R5	
Expansibilidade *b)	Satisfaz	

\*Estes ensaios são feitos por métodos comparativos:

- a) Especificações Técnicas harmonizadas alternativas: EN12485:2017  
b) Especificações Técnicas harmonizadas alternativas: EN196-3

Figura 4.19 - Características e desempenho técnico da cal viva

A fabricante indica o uso do material na preparação de ligante para argamassa para alvenaria, rebocos e estuques para produção de outros produtos de construção e para a utilização em engenharia Civil (Figura 4.19).

#### 4.2.4 Outros materiais

##### 4.2.4.1 Silicato de sódio

É um aditivo mineral de propriedade ligante, utilizado para aumentar a fluidez, diminuindo a quantidade de água necessária, e conseqüentemente, reduzindo o teor de contração. Este material que pode ser encontrado na forma sólida ou em solução aquosa, de cor branca, que produz uma solução alcalina e possui a fórmula  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , e é fabricado a partir do carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e areia silicosa ( $\text{SiO}_2$ ). Existem vários tipos de silicato de sódio, mas o mais usado é o metasilicato de sódio, que tem propriedades alcalinas e adesivas, e tem a sua maior aplicação em detergentes, na indústria cerâmica e metalúrgica. Neste estudo foi utilizado um silicato de sódio comercial em pequena quantidade (6g), na forma de solução aquosa, na produção de tintas à base cal hidratada e pigmentos em pó (Eires, 2012).

##### 4.2.4.2 Hidróxido de sódio

Mais conhecido como soda cáustica, é um composto sódico ( $\text{NaOH}$ ) obtido por hidrólise de uma solução de cloreto de sódio em água. É um material que se apresenta em estado sólido e é solúvel em água, sendo fortemente alcalino, e possui aplicações em diversos produtos como sabão, papel e também na indústria química. Neste estudo foi utilizado hidróxido de sódio comercial na produção de pintura à base de óleo.



#### 4.2.4.3 Borato de sódio

É um aditivo mineral, é comumente chamado de bórax, existente em depósitos de sais, como o borato “kernite” ou o tical, formados em lagos temporários através do processo cíclico de evaporação, e tem a designação química de tetraborato de sódio hexahidratado, de fórmula  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

O material possui inúmeras aplicações, é usado como fungicida e retardante do fogo em isolamentos à base de fibras de celulose e em impregnação de madeiras. É utilizado desde o século 10 d.C. no vidro cerâmico, sendo ainda hoje empregado na indústria cerâmica e do vidro, para aumentar a durabilidade dos produtos, e proporciona redução no consumo de energia para a produção dos materiais. Dentre muitas propriedades e aplicações, ainda possui função de desinfetante, inseticida, herbicida, agente dispersor, regulador e controlador de viscosidade (Eires, 2012). Foi utilizado neste trabalho uma versão em pó comercial, na produção de tinta de cal.

#### 4.2.4.4 Cera de abelha

Diluída em solvente (aguarrás), a cera de abelha é um bom revestimento, que pode ser aplicado a frio com a ajuda de um pincel, conferindo um aspecto bem natural à superfície das madeiras. Ela oferece uma boa impermeabilização, sem proporcionar muito brilho, que só aparecerá, com aspecto acetinado, se for polido com um pano seco. De secagem relativamente rápida, a cera de abelha também pode ser facilmente removida, com a própria aguarrás, e além disso, ela protege a superfície contra o acúmulo de poluição ambiental. Foi utilizada neste estudo produto comercial, comprado a granel em drogaria local, para produção de verniz de acabamento e impermeabilização das superfícies dos provetes.

#### 4.2.4.5 Sabão de azeite

Contém *Sodium Oliviate*, *Sodium Cocoate*, *Sodium Chloride*, *Sodium Hydroxide*, água, azeite, e não contém óleo de palma. Neste estudo foi usado para acabamento e impermeabilização da superfície dos provetes, comprado em comércio de produtos naturais local.

#### 4.2.4.6 *Aloe vera*

A *Aloe vera*, também conhecida por babosa, é uma espécie de planta suculenta do gênero *Aloe*. Cresce selvagem em climas tropicais ao redor do mundo e é cultivada para usos agrícolas e medicinais. Os componentes essenciais dos extratos de cactáceas são mucilagens que têm a característica de reter água. Esta propriedade, que permite que as cactáceas sobrevivam sem o

líquido vital por muito tempo, possibilita, nos rebocos e pintura de cal, a secagem lenta e uniforme, incrementando notavelmente sua resistência final, tornando-os mais resistentes contra os estragos causados pelas chuvas e a umidade (Lengen, 2004). O material foi usado *in natura* neste estudo na produção de pintura de cal.

#### 4.2.4.7 Óleo de linhaça

É um produto derivado do linho, podendo ser extraído a frio para fins alimentares ou através de solventes para outros usos, normalmente com fins industriais, como fabricação de tintas, pintura, tratamento de madeiras exteriores, e outros. Na composição do óleo, ácidos graxos saturados variam de 6-11%, oleico 13-29%, linoleico 17-30%, e linolênico 47-55%, o que faz do óleo de linhaça, um dos mais ricos em ácidos graxos essenciais (Bunn, 2012). O material utilizado é o óleo de linhaça vendido em drogarias ou comércio de material de construção, extraído por solventes e usado em seu estado natural (cru). Utilizou-se este produto para a produção de pintura a ser aplicada nos provetes como protetivo a exposição à água.

#### 4.2.4.8 Óleo vegetal usado

Consiste em óleo de cozinha, de fácil aquisição e passível de ser reaproveitado para a fabricação de sabão ou utilizado como combustível alternativo, e seu uso na construção em terra soma mais uma possibilidade de reciclagem do produto, além disso, devido às suas características, é muito valorizada a proteção que confere às paredes exteriores de uma construção em relação à água (Eires, 2012). Neste estudo ele foi utilizado após o uso em cozinha e passado por filtro para a exclusão de qualquer resíduo.

#### 4.2.4.9 Terebentina (aguarrás)

Terebintina é um solvente orgânico, um líquido obtido por destilação de resina de coníferas, com faixa de destilação compreendida entre 145°C e 240°C e ponto de fulgor de 45°C. É um líquido normalmente incolor, mas pode se apresentar levemente colorido por causa de alguma impurezas, com aroma forte e penetrante de pinho (quando fabricado a partir de resina de pinheiro). É um bom solvente, sendo usado na mistura de tintas, vernizes, polidores, também para diluir pigmentos, dissolver ceras e limpar pincéis. O extrato da resina é vulgarmente chamado de aguarrás.

Apesar de ser um produto natural, seu uso exige cuidados, visto que seus vapores podem irritar a pele e os olhos, causar danos aos pulmões e sistema respiratório, assim como ao sistema nervoso

central quando inalados, e causa falência renal quando ingerida, entre outras coisas. Também representa risco de incêndios devido a ser inflamável, o que faz com que seu uso deva ser restrito (Resipinus, 2017a). O material foi utilizado neste estudo como solvente para confecção de tinta natural.

#### 4.2.4.10 Resina de pinheiro ou colofônia

A resina de pinheiro tem cor amarelo acastanhada com um odor ligeiro de terebentina. Também chamada de pez, de onde vem o termo pesgar, este refere-se a uma método de impermeabilização das talhas de cerâmicas para armazenamento de vinho. Esta impermeabilização era feita com colofônia, cera de abelha e aguarrás (Resipinus, 2017b). Neste estudo foi utilizado um produto comercial para confecção de verniz natural.

#### 4.2.4.11 Pigmentos

Os pigmentos inorgânicos (minerais) compreendem compostos de diferentes classes e propriedades químicas, como os óxidos, os sulfetos, os carbonatos, os cromatos, os sulfatos, os fosfatos e os silicatos de metais (Veloso, 2021). Atualmente são comercializados como “terras” ou “cores” para o cimento. Para dar cor à pintura de cal, separadamente, dissolve-se o pó do pigmento mineral em uma pequena quantidade de água e se mistura perfeitamente até desfazer todos os grumos. Pigmentos em pó foram utilizados neste estudo na produção de tintas à base de cal.

#### 4.2.4.12 Fibras

As fibras são normalmente usadas como reforço das resistências mecânicas na construção em terra. Quando fibras finas ou cabelo/pelo são adicionados em pequenas quantidades, a resistência à tensão, e por consequência a resistência à compressão, é aumentada ligeiramente. As fibras também se comportam de maneira eficiente em relação a proteção face às chuvas, elas provocam uma dispersão da água por camadas sucessivas ao longo da superfície exposta, reduzindo o impacto da água e a erosão, bem como reduz a quantidade de água que atravessa a parede (Crocker, 2000 *apud* Eires, 2012). Neste estudo foi utilizada fibra têxtil de cânhamo industrial, fornecida pelo laboratório da Universidade, para ser utilizada no reforço de argamassas de assentamento e de reboco dos provetes.

## 4.3 Composições testadas e produção de provetes

### 4.3.1 Introdução

Faz parte deste trabalho uma parte prática em que foram preparados provetes de taipa e BTC em laboratório, para estudo e experimento dos materiais e técnicas construtivas de terra. Foram produzidos provetes com diferentes composições, para que pudesse ser avaliado posteriormente o comportamento dos materiais e técnicas utilizadas normalmente na construção em terra hoje. Contém no Anexo I o mapa das composições com todas as tipologias de BTC e provetes de taipa.

Foram fabricados BTCs e provetes de taipa aditivados com os estabilizantes mais comuns utilizados na construção em terra: cimento, cal hidratada e cal viva, a fim de que se obtivesse ao final o resultado dos comportamentos de cada tipologia após submetidas à ensaios de durabilidade e resistência mecânica. Cada um desses estabilizantes foram acrescentados em de 6% do volume total de solo usado para a produção de cada tipologia. Posteriormente, algumas unidades de provetes de taipa sem adição receberam barrados, algumas camadas de argamassa de cal e pinturas protetivas e de acabamento, com e sem argamassa, sobre suas superfícies, para que fosse observada a aptidão de cada tipo em proteger a camada de terra, assim como também a qualidade como acabamento final de uma alvenaria de terra.



Figura 4.20 - Preparo do solo com adição de caulino  
(1- caulino e solo, e 2- os materiais na misturadora)

Vale lembrar que antes do início da fabricação dos provetes o solo foi enriquecido na proporção de argila, e 8% de caulino foi adicionado a todo o solo usado na preparação dos provetes, sendo considerado este o solo original apto para a construção (Figura 4.20).

### 4.3.2 BTC

- O preparo do solo

Para a produção dos provetes, inicialmente uma grande quantidade de solo foi preparada. Para o BTC, o solo passou primeiramente pela peneira de 4,750mm, para eliminar os grânulos maiores da própria terra que pudessem partir-se posteriormente ou criar espaços no interior do bloco mesmo após a compressão, portanto, esta técnica pede um solo de granulometria mais arenosa e fina.

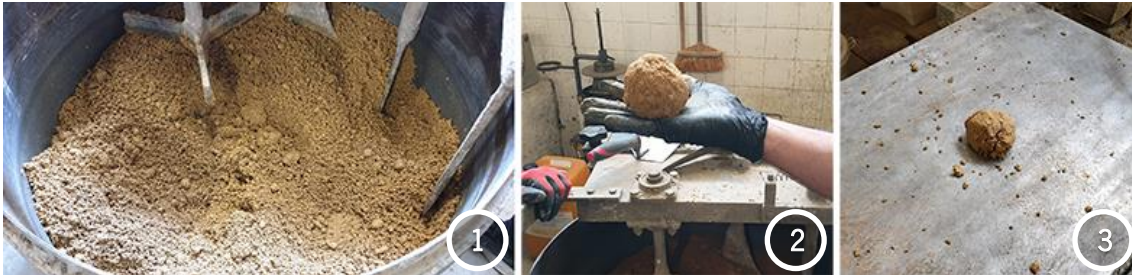


Figura 4.21 – Ponto ideal de hidratação do solo verificado pelo teste de queda de bola (1- solo na misturadora; 2- bola, e 3- estado da bola após a queda)

No preparo das misturas do solo, além de receber as adições em 6% de seu volume cada, as misturas também foram umedecidas com até 14% de água em relação ao volume de solo. O solo deve ter o aspecto seco, úmido apenas o suficiente para ser capaz de formar uma bola compacta entre as mãos (Figura 4.21). Todos os BTCs preparados foram aditivados com cimento, cal viva ou cal hidratada. Veja abaixo na figura 4.22 o organograma das misturas e quantitativos.

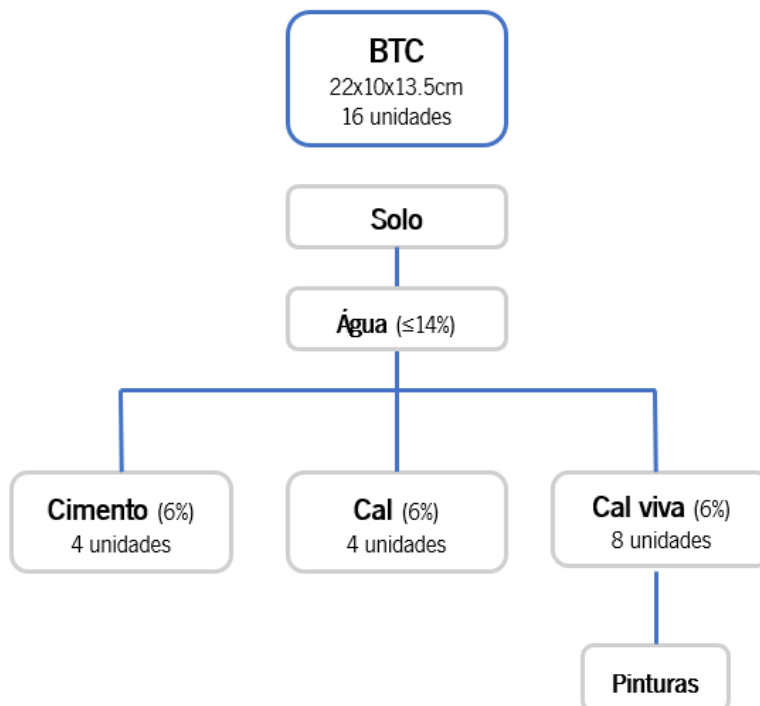


Figura 4.22 - Composição dos solos para BTC

- **Prensa manual**

Para a fabricação dos BTCs foi usada uma prensa manual pertencente ao laboratório de materiais da universidade. ela possui 2 formas de dimensões de 22x10x13.5cm, cada, com volume de 2771.30cm<sup>3</sup> (Figura 4.23).



Figura 4.23 - Prensa manual utilizada na fabricação do BTC  
(Foto de Silva, 2018)

- **Adição de cimento**

O solo recebeu adição de 6% de cimento portland 42.5R, foi hidratado com 14% de água. A mistura dos materiais foi feita na misturadora, sendo regada por água até que atingisse o ponto ideal de umidade e fosse possível fazer o teste da bola. Depois foi imediatamente levada à prensa manual para a produção dos BTCs, onde o solo foi colocado na forma manualmente, sendo apertado com os dedos, principalmente nos cantos, para que não faltasse material e ficassem frágeis. Depois a prensa é abaixada e num movimento único e bem firme o solo é comprimido e já está pronto o BTC, que é pesado para que a quantidade de material utilizado no primeiro modelo, seja repetido no próximo.

- **Adição de cal hidratada**

O solo recebeu 6% de cal aérea hidratada, levados à misturadora onde pouco a pouco os materiais foram integrados e umedecidos com 14% de água até que atingisse o ponto ideal para o teste da bola. Quando pronto o solo, este foi levado para a prensa manual, as formas foram preenchidas e o solo comprimido com os dedos em todos os cantos para que não faltasse material e estes ficassem fracos. Depois o BTC modelo é pesado para que seja mantido o padrão de quantidade de solo compactado entre eles.

- **Adição de cal viva**

No caso da mistura feita com cal viva (6%), foi preciso hidratar a cal previamente, por 48h, com a quantidade de água equivalente à metade do seu peso. A cal viva foi hidratada juntamente com o solo, em camadas intercaladas de cal e solo, regadas uma a uma até que fosse feita a última camada de solo, deixando a cal coberta (Figura 4.24). A mistura ficou coberta por um plástico por dois dias até ser utilizada, de forma que ficasse protegida e não corresse o risco de perder o teor de umidade ao passar dos dias e a cal não ficasse bem hidratada.

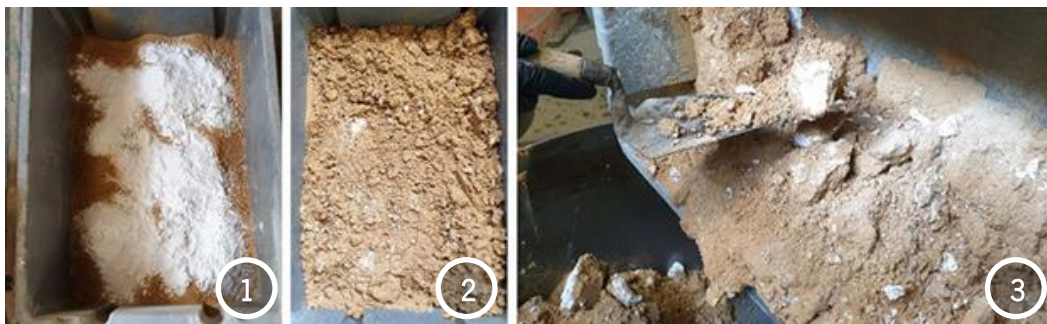


Figura 4.24 - Hidratação da cal viva com o solo em camadas  
(1 e 2- camadas intercaladas de solo e cal viva, e 3- após 48h de hidratação)

Após as 48h de hidratação, a mistura foi levada à misturadora para que os materiais se integrassem bem, não houve necessidade de mais hidratação, e o teste da bola resultou bem. Então o solo foi levado à prensa manual, onde o solo foi colocado dentro da forma com as mãos e sendo comprimido com os dedos, principalmente nos cantos, para que não faltasse material e estes fossem frágeis ou com buracos. E repetiu-se o mesmo processo dos outros dois anteriores de pesar e manter o padrão de peso entre os blocos.

- **Cura**

Depois de prontos, os blocos passaram por um período de cura de 30 dias no laboratório, estiveram duas semanas cobertos por plástico para que fosse preservado o teor de umidade por mais tempo e a perda de água fosse gradativa.

Após este período, dois exemplares de BTCs de cada tipo de adição receberam argamassa de assentamento e foram unidos um sobre o outro, simulando uma pequena parede, e ficaram cerca de duas semanas cobertos novamente para que a argamassa não secasse depressa e o restante do tempo foram descobertos até que completassem 30 dias, secando no mesmo espaço (Figura 4.25).



Figura 4.25 - BTCs prontos colocados para curar

#### 4.3.3 Taipa

- O preparo do solo

Para a produção dos provetes uma grande quantidade de solo foi preparada. Neste caso o solo não foi peneirado para aproveitar os grânulos maiores que já estivessem na terra, foi ainda acrescentada uma porcentagem de agregados grossos para dar mais coesão, uma vez que a taipa é um sistema construtivo de maior dimensão. Para juntar-se ao solo, optou-se pela brita fina de até 10mm de diâmetro, na proporção de 60% de solo para 40% de brita fina (Figura 4.26).



Figura 4.26 - Composição de solo para provetes de taipa

Após a mistura dos secos em uma misturadora, o solo foi acrescentado separadamente por três tipos de aditivos (6%): cimento, cal viva e cal hidratada, e umedecido com água em até 14% de seu peso, ou até que atingissem o ponto ideal do teste de queda de bola. Segue abaixo o organograma do preparo do solo, adições e acabamentos, estes previstos para serem aplicados sobre provetes sem aditivos e mais alguns experimentos de pinturas sobre as argamassas de acabamento e diretamente na superfície de alguns provetes de cal viva (Figura 4.27).



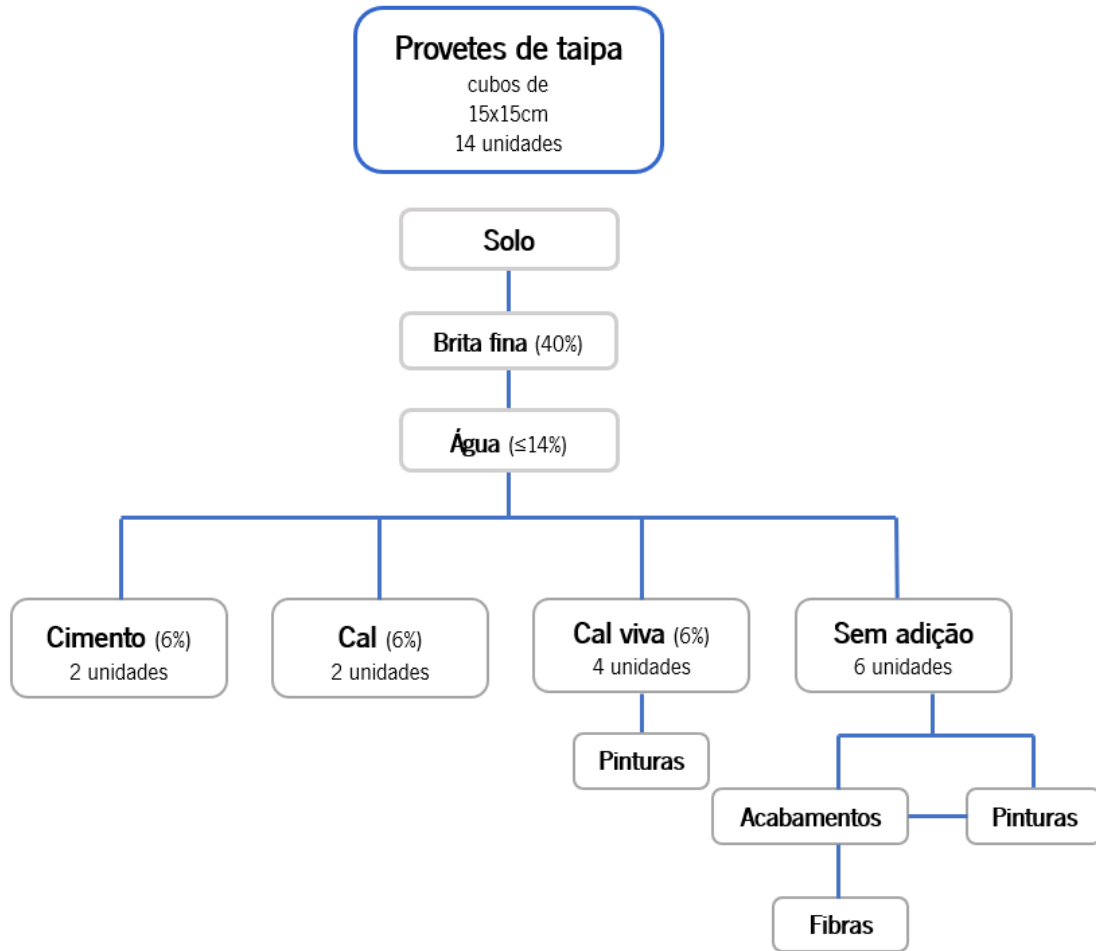


Figura 4.27 - Organograma de produção de provetes de taipa

- **Aditivos**

Ao solo preparado para as taipas foram acrescidos com os mesmos aditivos que recebeu o BTC: cimento, cal hidratada e cal viva, a 6% de cada, seguindo os mesmos processos e período prévio de hidratação da cal viva.

- **Compactação**

Os provetes de taipa foram produzidos por compactação manual, um batedor de madeira de base quadrada de aproximadamente 8x8cm e também com o uso de um compactador pneumático tipo agulha (ver características do modelo usado na ficha técnica abaixo na figura 4.28).



Figura 4.28 – Materiais utilizados na compactação  
 (1- compactador pneumático; 2- ficha técnica do compactado acima, e 3- forma do provete)

No lugar do taipal, os provetes foram compactados dentro de formas de ferro com dimensões de 15x15cm e 3375cm<sup>3</sup> de volume. A compactação foi feita por camadas de aproximadamente 5 cm, até que preenchessem a forma. Os provetes foram desenformados no mesmo dia, logo após todos os provetes do mesmo tipo de aditivo terem sido compactados (Figura 4.29).



Figura 4.29 - Forma preenchida com solo compactado

- Cura

Após serem desenformados, os provetes passaram por um período de cura de 30 dias, estiveram duas semanas cobertos por plástico em ambiente fechado no laboratório, de forma que fosse preservado o teor de umidade por mais tempo e que essa perda fosse gradativa. Após este período, alguns provetes receberam camadas de argamassa e ficaram por cerca de duas semanas mais cobertos para que a argamassa não secasse depressa e o restante do tempo foram descobertos até que completassem 30 dias secando no mesmo ambiente.



Figura 4.30 - Provetes de taipa com manchas de mofo durante e após período de cura (1- provete de taipa com adição de cal hidratada, e 2- provete de taipa sem adição)

Foi observado o surgimento de manchas escuras e brancas sobre os provetes, durante o período de cura quando estiveram cobertos com plástico, identificadas como fungos (Figura 4.30). Não houve proliferação dos mesmos e após retirar o plástico e durante o manuseio dos provetes, muitas das manchas sumiram, com exceção das escuras.

#### 4.3.4 Revestimentos

##### 4.3.4.1 Argamassa de assentamento

Para os BTCs com adição de cimento, foi feita uma argamassa de assentamento usando o cimento como ligante, e para os blocos com adições de cal viva e cal hidratada, foi utilizada a cal hidratada como ligante, isso porque não havia cal viva previamente hidratada no momento para ser usada na argamassa dos respectivos provetes de cal viva. A argamassa foi aplicada entre duas unidades de BTCs de forma a criar amostras de mini paredes para desta forma serem posteriormente ensaiadas quanto a erosão acelerada por jato de água. Na figura 4.31 está o mapa de aplicação de cada tipo de argamassa nos respectivos BTCs, como mostra a legenda, e indicação de pintura para um deles.

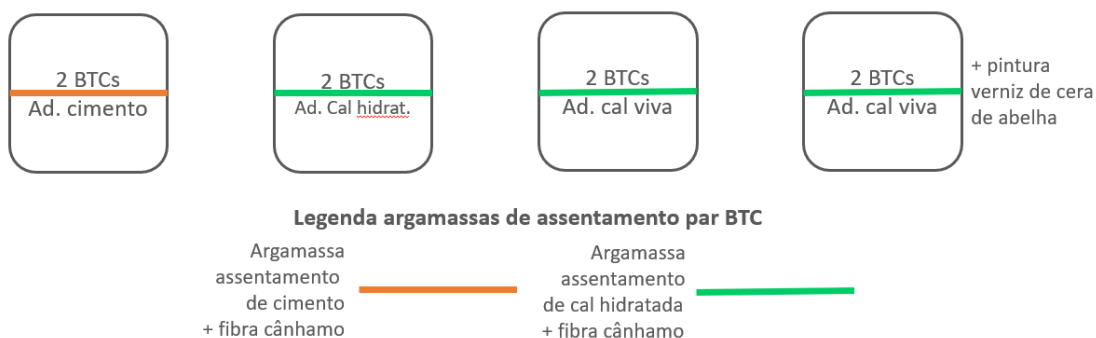


Figura 4.31 - Mapa de aplicação de argamassa entre BTCs

As argamassas foram reforçadas com fibras de cânhamo para auxiliar na aderência e diminuir os danos de retração, na proporção mostrada na tabela 4.5. Isso foi feito porque os provetes seriam manuseados muitas vezes e expostos à água por dias durante os ensaios, então fez-se necessário reforçar a adesão dos mesmos, mas em uma situação normal numa construção, isso não seria necessário. As superfícies dos provetes foram desgastadas (arranhadas) e molhadas para ajudar no contato e aderência da argamassa ao secar e retrair.

Tabela 4.5 - Composição de argamassa de assentamento para BTC

<b>Composição para argamassa</b>				
Valores em % sobre a quantidade de solo				
<b>Argamassas</b>	<b>Solo</b>	<b>Água</b>	<b>Ligante</b>	<b>Fibra</b>
Cimento	1 volume	35%	15%	3%
Cal hidratada	1 volume	50%	15%	3%

A porcentagem de água nestas argamassas foi maior que das argamassas de acabamento, para que aumentasse a trabalhabilidade, retardando ou evitando danos de retração. O ensaio de espalhamento foi feito segundo a norma EN 1015-3, 1999, e marcou em torno de 170mm de espalhamento (Figura 4.32).



Figura 4.32 - Argamassas de assentamento em BTC  
(1- teste de espalhamento; 2- ranhuras e hidratação do BTC; 3- aplicação da argamassa, e 4- união dos BTCs)

#### 4.3.4.2 Argamassas de acabamento

Após 30 dias do período de cura, quatro provetes de taipa receberam uma camada de argamassa de reboco, com cerca de 20 mm de espessura, onde algumas dessas superfícies depois receberiam pinturas diversas. Essas argamassas foram feitas de cal viva e de cal hidratada, na proporção mostrada na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Composição de argamassa de reboco para provete de taipa

Composição para argamassa				
Valores em % sobre a quantidade de solo				
Argamassas	Solo	Água	Ligante	Fibra
Cal viva	3 volumes	30% + ½ volume da cal	1 volume	2%
Cal hidratada	3 volumes	30%	1 volume	2%

Na figura 4.33 está o mapa de aplicação das argamassas de cal viva e de cal hidratada sobre faces de provetes de taipa sem adição e as respectivas aplicações de pinturas e acabamentos sobre elas. Apenas um dos provetes recebeu pintura de verniz sobre a superfície de taipa sem argamassa.

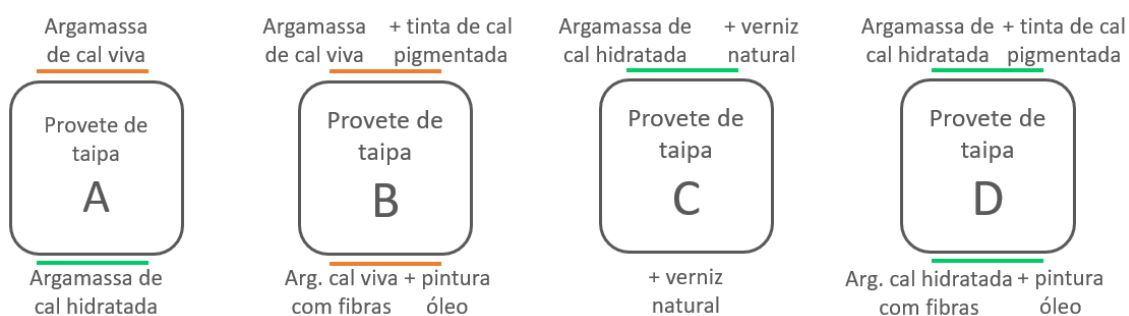


Figura 4.33 - Mapa de aplicação de argamassa e acabamentos sobre provetes de taipa

Foi feito o ensaio de espalhamento segundo a norma EN 1015-3, 1999, e as argamassas foram feitas com em torno de 160mm de espalhamento. Cada composição de argamassa foi feita com e sem fibras, para que fossem experimentadas e os resultados, de ambas as alternativas, avaliados após os ensaios (Figura 4.34). Posteriormente essas argamassas receberam pinturas de tintas de cal pigmentadas e de óleo de cozinha usado.



Figura 4.34 – Ensaio de espalhamento e aplicação de argamassa com fibra em provete de taipa (1, 2 e 3- teste de espalhamento; 4- textura da argamassa, e 5- aplicação da argamassa)

#### 4.3.4.3 Pinturas

Alguns BTCs e provetes de taipa receberam acabamentos como pintura com tinta de cal, verniz de resinas naturais, água com sabão de azeite e os provetes de taipa também receberam uma pintura de óleo impermeabilizante de cozinha usado sobre argamassa de reboco.

- **Pintura de óleo de cozinha usado**

Foi produzida uma mistura de óleo vegetal de cozinha usado com soda cáustica, na proporção que mostra a tabela 4.7, para ser aplicada sobre camadas de argamassa de cal viva e de cal hidratada de provetes de taipa. Esta pintura lembra um verniz, foi aplicada com um pincel sobre a argamassa ainda fresca, para que ela secasse junto com a argamassa diminuindo as chances de fissura e atuando também como impermeabilizante protetivo dos provetes quando fossem posteriormente submetidos ao ensaio de simulação de chuva.

Tabela 4.7 - Composição da tinta de óleo vegetal de cozinha usado

Composição de pintura de óleo usado	
<b>Óleo</b>	1 volume
<b>Soda cáustica</b>	1% do óleo
<b>Água</b>	Suficiente para dissolver a soda

A soda cáustica previne e protege a superfície de sujeiras e poluição ambiente, além disso forma sabão quando reage com a gordura do óleo. Ela foi utilizada em grânulos e dissolvida em uma pequena quantidade de água antes de ser misturada ao óleo. Depois de seco não fica com aspecto brilhoso, nem confere cor, é um acabamento bastante neutro (Figura 4.35).



Figura 4.35 – Pintura com óleo vegetal sobre argamassa com fibras

(1- pintura de óleo de cozinha usado, e 2- pintura aplicada sobre camada de argamassa em provete de taipa)

- Tinta de cal viva com babosa

Esta tinta foi fabricada no laboratório utilizando babosa *in natura* (sumo da suculenta *aloe vera*), cal viva e bórax, que foi usado como conservante para a babosa, na proporção indicada na tabela 4.8, para evitar que a babosa pudesse se deteriorar muito rapidamente.

Tabela 4.8 - Quantitativo para tinta de cal viva com babosa

Receita tinta de cal com babosa	
Babosa	1 volume
Cal viva	2 volumes
Bórax	1% da quantidade de cal
Água	½ volume cal + suficiente para cobrir a babosa

O modo de preparo: a babosa foi picada por inteiro e masserada, depois foi coberta por água e a mistura foi deixada por 24h para hidratar. A cal viva foi hidratada com água na quantidade de metade de seu peso e depois adicionada à babosa. Por último foi acrescentado o bórax como conservante da mistura. A mistura era bem pequena e foi deixada descansar por dois dias antes de ser usada na pintura de provetes.

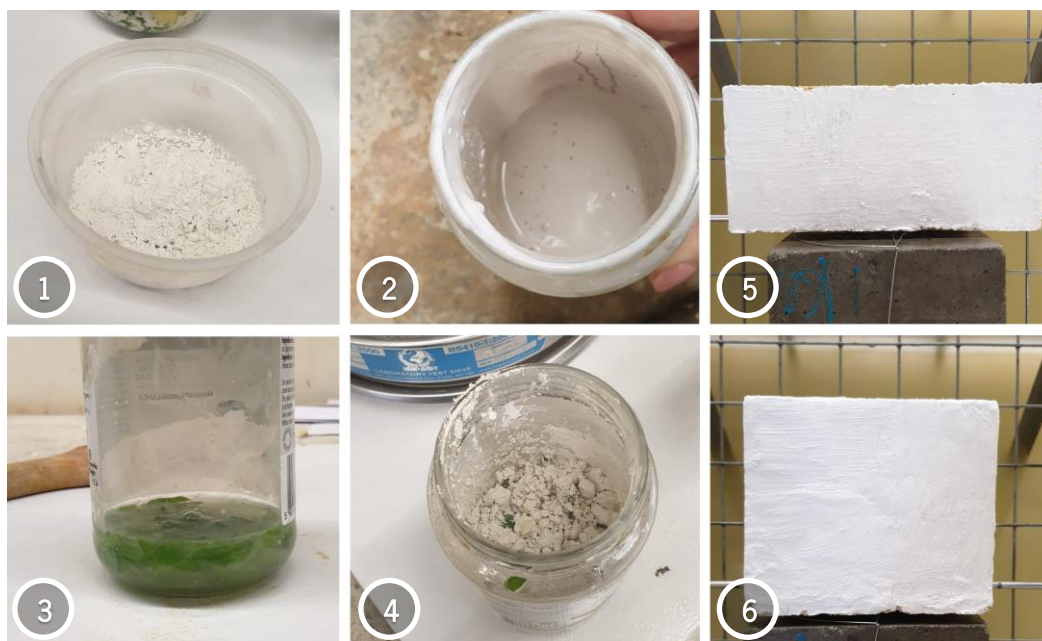


Figura 4.36 - Pintura tinta cal com babosa  
 (1- cal viva; 2- cal viva hidratada; 3- babosa hidratada 4- mistura da cal com a babosa, e 5 e 6- provetes pintados com a tinta)

A pintura foi feita com duas semanas de antecedência dos ensaios a que os provetes foram submetidos (Figura 4.36). Este experimento foi baseado na técnica de pintura de cal utilizando cactos do *Manual do Arquiteto Descalço*, livro de Johan van Lengen (2004), fundador do Instituto de Tecnologias Intuitivas e Bio-Arquitetura (TIBÁ).

- Tinta de cal hidratada com silicato de sódio e pigmentos

Foram produzidas tintas de cal com silicato de sódio e adicionados pigmentos em pó vermelho e amarelo para serem aplicadas sobre as argamassas de cal aérea e cal viva (Figura 4.37).



Figura 4.37 - Provetes de taipa pintados com a tinta de cal hidratada com silicato

(1- provetes com pintura sobre argamassa; 2- silicato de sódio; 3 e 4- tintas pigmentadas)

O silicato de sódio confere maior fluidez à tinta e reduz a necessidade de se por mais água, com isto, reduz o teor de retração, o que propicia a preservação do acabamento de uma construção



(Tabela 4.9). Foram aplicadas duas demãos com pincel, sendo respeitado um período de 1h de secagem entre elas.

Tabela 4.9 - Composição de tinta de cal hidratada com silicato de sódio e pigmento

Receita tinta de cal pigmentada com silicato	
Água	1l
Cal hidratada	200g
Silicato de sódio	6g
Pigmento	5% da cal

- Verniz natural impermeabilizante

Foi produzido um verniz natural impermeabilizante utilizado em cerâmicas para ser aplicado sobre os provetes e analisar o seu poder de impermeabilização quando os provetes fossem submetidos ao ensaio de simulação de chuvas. Na sua composição foi usado cera de abelha; resina de pinheiro ou colofônia; óleo de linhaça (pode ser substituído por azeite ou borras de azeite) e terebentina (aguarrás), na proporção apresentada na tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Quantitativo para verniz natural impermeabilizante

Composição de verniz natural	
Colofônia (resina de pinheiro)	1 volume
Cera de abelha em barra	1 volume
Óleo de linhaça	¼ volume
Terebentina	1/5 volume

Os componentes foram colocados em recipiente de alumínio na proporção indicada e levados em banho-maria, mexendo bem, até que todos se dissolvessem por completo. Ainda quente, foi aplicada com pincel uma camada sobre os provetes, esperou-se alguns minutos até que secassem e foi aplicada uma segunda camada (figura 4.38).



Figura 4.38 - Preparo e aplicação do verniz sobre os provetes (1- Elementos dissolvendo; 2- mistura homogênea; 3 e 4- provetes pintados com o verniz)

O acabamento final é brilhoso e confere uma saturação na cor natural do solo, como se estivesse molhado. Os provetes foram ensaiados uma semana após a aplicação.

- **Água com de sabão de azeite**

Para a fabricação desta acabamento, foi utilizado sabão de azeite em barra diluído em água quente, bem concentrado.

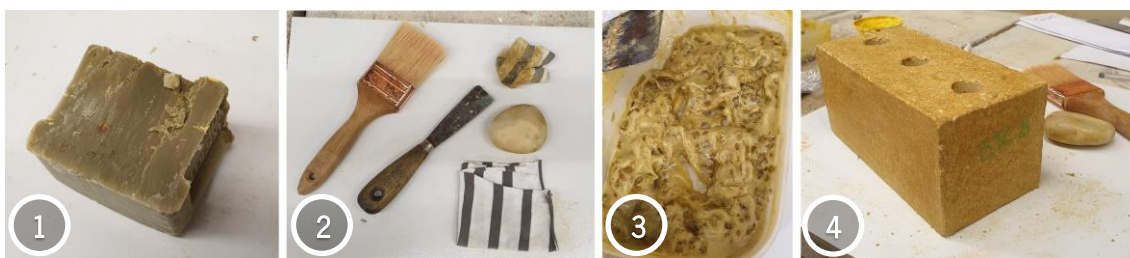


Figura 4.39 - Aplicação da técnica de ensaboamento (1- sabão de oliva; 2- ferramentas usadas; 3 pasta de sabão de oliva e 4- BTC com o acabamento)

Foi aplicado à superfície do provete, com a ajuda de um pano seco, uma camada fina do acabamento de sabão bem pastoso, que depois foi polida com uma pedra (Figura 4.39). Por cima recebeu uma camada fina de terra peneirada em peneira de 500 microns, que foi polida também. Depois recebeu mais uma camada fina de sabão e polimento final com a pedra.



Figura 4.40 – Polimento com pedra sobre provete de taipa com areia fina e com sabão (1 e 2 - polimento com areia finíssima, e 3- resultado do polimento sobre provete de taipa)

O aspecto ficou bem agradável, natural, liso e sedoso, como a de cera de carnaúba sobre madeira, sendo possível polir com pano seco, que confere um brilho acetinado (Figura 4.40). Para este acabamento foi utilizado a referência de acabamento final, o ensaboamento, da técnica marroquina *tadelakt*, encontrado no guia de Tadelakt de Leis et al. (2016).

#### 4.4 Ensaios realizados

Foram feitos ensaios e experimentos no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho no Campus Azurém, para teste e avaliação dos materiais utilizados

na construção em terra traduzidos nas amostras de BTC e provetes de taipa produzidos neste trabalho.

Os exemplares foram colocados em prova principalmente quanto à sua durabilidade face ao desgaste causado pelas águas de chuva com o ensaio de erosão acelerada por jato de água (simulação de chuva), intercalado por períodos de secagem, simulando as intempéries climáticas; e também por ensaios complementares, como: avaliação qualitativa visual e avaliação dimensional com paquímetro; análise de ultrassom, e resistência mecânica por compressão.

#### 4.4.1 Avaliação visual e dimensional

Após cada ciclo de simulação de chuvas a que os provetes foram submetidos, foi feita uma avaliação visual para documentar perdas de massa e alterações que fossem facilmente percebidas numa avaliação visual. Para o dimensionamento das áreas afetadas, foi utilizado um paquímetro como ferramenta de auxílio na medição de pequenas distâncias (Figura 4.41).



Figura 4.41 – Paquímetro

#### 4.4.2 Erosão acelerada por jato de água – simulação de chuva

O ensaio feito baseia-se na norma ASTM D559 - 03 (2003), e adaptado às condições, tempo e materiais disponíveis em laboratório. Os métodos de ensaio abrangem procedimentos que avaliam as perdas de solo, alterações de quantidade de água e mudanças do volume (expansão e retração) produzidos por repetidas seções de molhagem e secagem, e determinam a resistência das amostras a esses ciclos.

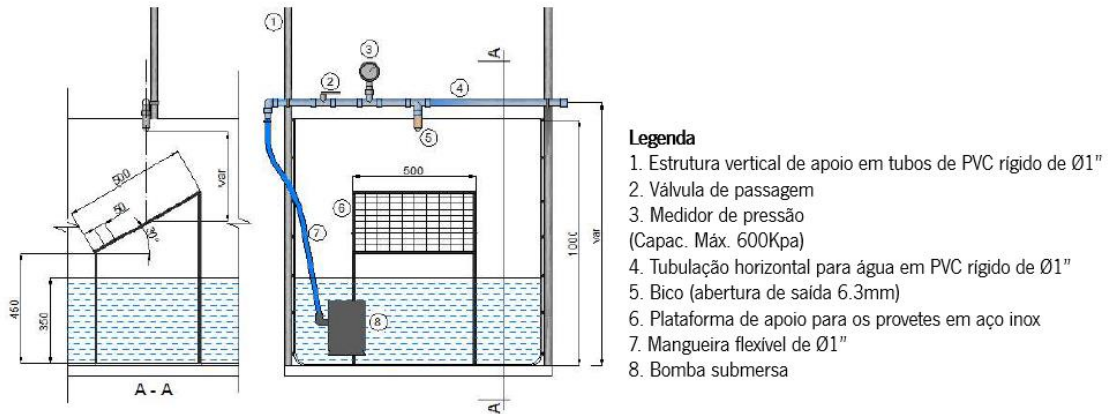


Figura 4.42 - Equipamento simulador de chuvas (medidas em mm)  
(Imagem adaptada de Rezende, 2016)

Os provetes avaliados foram colocados em estufa a 70° para um período de secagem inicial, depois foram pesados e deixados em temperatura ambiente algumas horas para esfriarem. Depois foi dado o início à simulação de chuvas, quando os provetes foram testados um a um utilizando o método desenvolvido por Rezende (2016), de avaliação de um simulador de chuvas por teste acelerado de degradação, intercalando com períodos de secagem de pelo menos 14h a 70° em estufa. Os ciclos de molhagem e secagem repetiram-se por três dias seguidos, para cada provete.

Após a primeira secagem e pesagem, cada provete foi submetido ao simulador de chuvas, onde foi posicionado sobre uma plataforma de aço inox em malha vazada de 50x50mm que permite o escoamento da água (Figura 4.42).

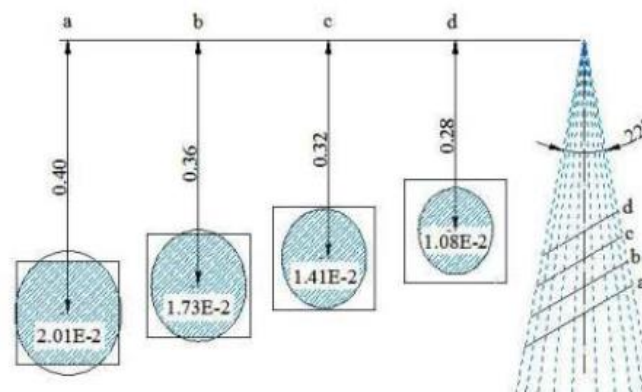


Figura 4.43 – Relação de distância (dm) de saída do jato e a área impactada  
(Imagem de Rezende, 2016)

A posição da plataforma do simulador faz com que a superfície do provete a ser testada fique virada para cima em um ângulo de 30°, a uma distância que variou entre os 36cm e 30cm do bico, dependendo do tamanho e tipo de provete (Figura 4.43). O provete foi submetido a uma

vazão de 14,26 litros.min<sup>-1</sup> e pressão de saída da água no bico de 45Kpa, o que está coerente com os valores de pressão para testes de erosão referenciados nas normas internacionais (Figura 4.44).



Figura 4.44 - Ensaios de provetes de diferentes tipologias

(1- Ensaio em provete de taipa com argamassa e pintura; 2- ensaio em BTCs unidos; 3- ensaio em provete de taipa sem acabamento; 4- ensaio em provete de taipa com argamassa em duas faces e pintura, e 5- ensaio em BTC)

Após 90 minutos de exposição no simulador de chuvas, os provetes descansaram por cerca de 30 minutos para que escorresse o excesso de água e depois foram pesados e levados novamente para a estufa para um período de secagem de aproximadamente 15h. Este processo foi repetido por mais duas vezes, totalizando 3 ciclos de ensaio para cada provete, que finalizavam sempre após um período de secagem. Por fim, foram analisados os resultados e verificadas as perdas de massa, e alterações de volume de água dos provetes.

Algumas adaptações precisaram ser feitas durante o processo dos ensaios para que alguns provetes pudesse chegar até o final dos ensaios. Foi adaptado ao suporte dos provetes uma base extra para segurar alguns provetes que, em razão de sua composição e tipologia, pudesse cair do suporte na água, como é o caso dos provetes de taipa sem adição e com camadas de argamassa. Como alguns deles tinham camadas de argamassa de 20 mm de cada lado a ser ensaiado, ficaram com o comprimento total superior à largura e voltado para cima, com a tendência a se inclinarem para frente, o que aconteceu com um dos provetes que perdeu massa na base por escoamento indireto da água, ficando sem sustentação para se manter no lugar. Por esta razão, também foi aplicada uma camada de silicone sobre áreas sem proteção de argamassa de alguns provetes de taipa sem adições.

Foi avaliada a variação de massa que cada provete obteve entre os ciclos e a variação total de cada uma delas ao final de todos os ciclos. O resultado foi obtido com base na norma NBR 13554 (1996), onde o cálculo para se obter a perda de massa é:

$$V = \frac{(M_f - M_i)}{M_i}$$

Onde:

**V** = Variação de massa do provete

**M<sub>f</sub>** = massa seca final do provete

**M<sub>i</sub>** = massa seca inicial do provete

Como o resultado é avaliado em porcentagem os resultados obtidos no cálculo acima foram multiplicados por 100.

#### 4.4.3 Análise de ultrassom

Este ensaio é feito para medir a velocidade de propagação de ondas através do material em estudo, no caso a terra compactada. Para isto, é usado um equipamento em que um gerador de impulsos emite um sinal de alta voltagem e de curta duração a um transdutor, provocando uma vibração no transdutor com a sua frequência de ressonância. No início da transmissão dos impulsos elétricos é iniciado um temporizador eletrônico; as vibrações do transdutor são transmitidas para a terra através de um fluido viscoso; o impulso das vibrações atravessa o provete e estas são detectadas por outro transdutor, colocado na superfície do provete a uma distância determinada; quando o impulso é recebido, o temporizador eletrônico é desligado, sendo assim determinada a duração do percurso do impulso através da terra. Através da razão entre a distância e o tempo decorrido é determinada a velocidade de propagação das ondas na terra (ACI Committee 228, 2003 *apud* Abreu, 2013).

Para a realização deste ensaio é preciso que haja um bom acoplamento entre as faces dos transdutores e a superfície do provete. A superfície a ser ensaiada deve ser lisa, regular e limpa, para que o acoplamento seja eficaz, devendo ainda ser usado um agente condutor, que pode ser gel, massa ou óleo. Os transdutores podem ser colocados sobre a superfície do provete de três formas, como mostra a figura abaixo. Em que quanto maior for a distância entre os transdutores e menos o ângulo formado pelas normais exteriores às superfícies, maior será a atenuação da onda ao atingir o receptor (Mendes, 2012).

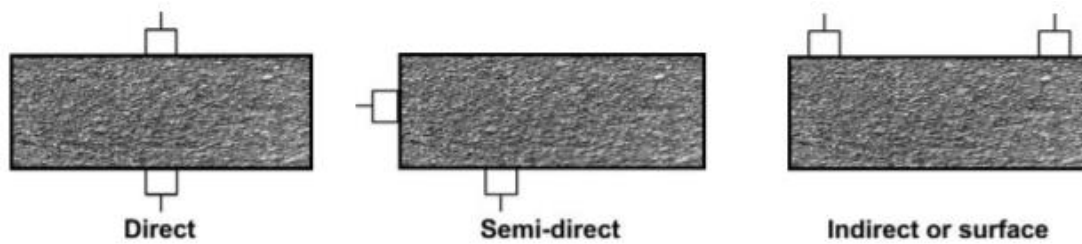


Figura 4.45 - Modos de propagação das ondas ultrassônicas (PROCEQ, 2017)

Neste estudo foi feito o método de leitura direta, com o qual se obtém maior precisão nos resultados pois, além dos resultados do cálculo a distância entre os transdutores serem mais exatos, garantindo-se a linearidade, a energia máxima de vibração é transmitida perpendicularmente à face dos transdutores, obtendo-se assim tempos de percurso mais confiáveis (Figura 4.45). Pretendia-se obter informações relativas à homogeneidade dos provetes após os ensaios de durabilidade, avaliar a presença de vazios ou a existência de fendas, podendo relacionar os valores obtidos com os valores de resistência à compressão do material.

Uma avaliação inicial de ultrassom foi feita em cada grupo de provetes antes que estes fossem submetidos aos ciclos de simulação de chuvas e secagem. Posteriormente, foi feita a mesma avaliação de ultrassom em cada um dos provetes testados, para saber quais alterações internas cada um deles poderiam ter sofrido após os 3 ciclos de ensaio de durabilidade a que foram submetidos.



Figura 4.46 - Equipamento medidor, transdutores e medição de provete

O equipamento utilizado foi o *Pundit Lab+ Ultrasonic Instrument* da PROCEQ, pertencente ao Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Campus Azurém, em Guimarães (Figura 4.46). Com transdutores cilíndricos, foi utilizada uma

massa (rosa) como condutora entre os transdutores e as superfícies dos provetes. Antes do início da medição, sempre era necessário calibrar os transdutores para que tivessem uma calibração de 25.4 $\mu$ s. A frequência utilizada foi de 54kHz, e antes da medição era preciso ajustar o comprimento a ser medido (Figura 4.47).



Figura 4.47 - Ajustes do medidor de ultrassom (PROCEQ, 2017)

O processo de ensaio teve como base a norma EN 12504-4 (2004), como princípio medir o tempo de propagação das ondas ultrassônicas através dos provetes de terra compactada, entre os dois pontos onde são posicionados o transmissor e o receptor do aparelho. A figura 4.48 mostra os pontos de referência para a medição nos provetes de taipa e BTC.

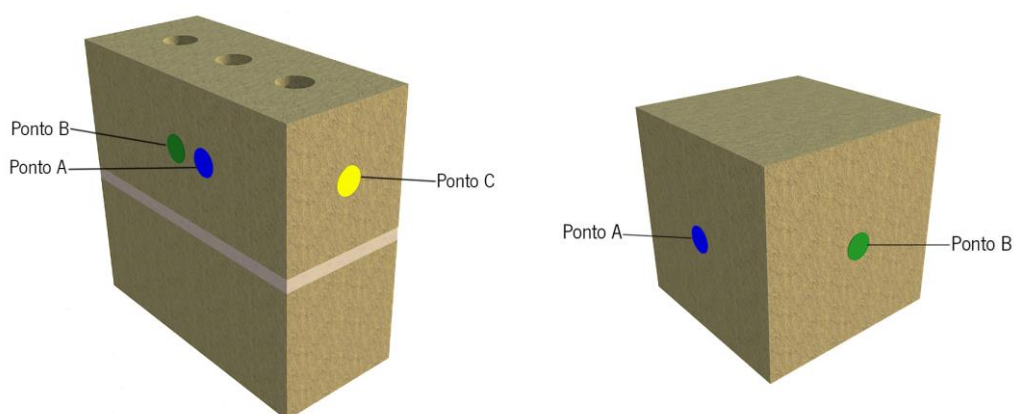


Figura 4.48 - Pontos de referência de medição de ultrassom em cada tipologia de provete

Como foram feitas leituras diretas dos provetes, os transdutores foram posicionados frente a frente em lados opostos das superfícies dos provetes, e cada provete teve a aferição de ultrassom feita três vezes nos mesmos pontos, para depois ser feita uma média das leituras, e para posterior comparação dos resultados (Tabela 4.11).

As leituras foram feitas nos provetes antes de serem submetidos ao ensaio de durabilidade e após o fim dos ciclos do ensaio.



Tabela 4.11 - Distância a ser medida

**Distância de medição de cada tipo de provete (mm)**

Pontos	BTC	Provete de taipa
A	105mm	150mm
B	105mm	150mm
C	220mm	-

#### 4.4.4 Ensaio de resistência mecânica à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado com base na norma EN 772-1 (NP, 2002), com o objetivo de avaliar a resistência à compressão de BTC e provetes de taipa.

O ensaio de compressão foi aplicado a todos os provetes produzidos para este estudo, com exceção dos provetes de taipa 8 e 12, que já haviam cedido submetidos ao ensaio de durabilidade. Neste ensaio foi possível avaliar a resistência mecânica a compressão dos provetes submetidos anteriormente ao ensaio de durabilidade por erosão de chuva e secagem em comparação com os provetes que não foram submetidos ao ensaio de durabilidade, que tenham as mesmas características e o mesmo tipo de adição, para uma avaliação da qualidade do material antes e após a ação da água.

Os provetes com acabamentos de argamassa e pinturas também foram submetidos a este ensaio para ver como se saíam após a exposição à água. No caso dos BTCs que foram unidos e ensaiados na forma de mini parede quanto à erosão de chuva, foram desmembrados e submetidos à compressão apenas a unidade que se encontrava na posição superior, a mesma peça que foi aferida a medição no ensaio de ultrassom, de forma que a performance destes BTCs pudesse ser comparada com a da sua unidade equivalente - meso aditivo - e que não foi testado quanto a durabilidade à erosão por jato d'água. Os provetes de taipa que receberam camadas de argamassa de revestimento e pintura em duas de suas faces, foram submetidos normalmente ao ensaio de resistência mecânica à compressão, sendo comprimidos no sentido em que as camadas de terra foram compactadas e ficando as faces de argamassa de acabamento perpendiculares às superfícies compressoras.

Os provetes já haviam sido produzidos há aproximadamente 4 meses da data deste ensaio e estavam condicionados em ambiente fechado, no laboratório, nas condições indicadas pela norma, temperatura  $\geq 15^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa  $\leq 65\%$ , e mesmo os provetes que haviam sido

submetidos ao ensaio de durabilidade já tinham secado por 24h em estufa a 70° pelo menos 3 três dias antes da realização deste ensaio.



Figura 4.49 - Equipamento compressor usado e BTC ensaiado

Foi utilizada uma prensa hidráulica para os ensaios no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (Figura 4.49). Os provetes foram colocados centralizados sobre o prato da máquina de ensaio de compressão e é aplicada uma carga de 0,15(N/mm<sup>2</sup>)s uniformemente distribuída e incrementada continuamente até a ruptura após 1 minuto. O sentido de compressão aplicada nos provetes foi perpendicular às faces do provete que foram ensaiadas por durabilidade e aplicados os barrados, sendo no mesmo sentido em que os modelos foram comprimidos, simulando assim as cargas que o material sofreria numa construção.

Para avaliar os provetes neste ensaio, a única propriedade mecânica que é avaliada nos ensaios de compressão de materiais frágeis é o seu limite de resistência à compressão. Para calcular o limite de resistência foi utilizada a fórmula:

$$LR = \frac{F_{max}}{S_0}$$

Onde:

**F<sub>max</sub>** é a carga máxima do momento de ruptura







**S<sub>0</sub>** é a área inicial da seção











## 4.5 Análise dos resultados dos ensaios








### 4.5.1 Avaliação visual e dimensional

Na tabela 4.12 são apresentadas todas as características observadas nos BTCs durante o ensaio de durabilidade, avaliação feita antes e após cada ciclo.

Tabela 4.12 - Avaliação qualitativa de BTC

Avaliação Qualitativa Visual e com Paquímetro					
Ciclos de molhagem e secagem					
Provetes	Parâmetros	Antes dos ciclos	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo
BTC 1 (adição de cimento)	Registro visual	-			
	Avaliação	-	Não foram observadas alterações relevantes no corpo do provete, e as dimensões gerais do modelo também permanecem as mesmas.	Não foram observadas alterações relevantes no corpo do provete.	Não foram observadas alterações relevantes no corpo do provete.
	Dim.	-	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente
BTC 3 (adição de cal hidratada)	Registro visual	-			
	Avaliação	-	O provete sofreu alguma perda de material, principalmente na região próxima à argamassa de rejunte. Observou-se também perda de material a partir das marcas no momento da prensa do bloco, no momento de sua confecção. As perdas de materiais nas quinças dos blocos já existiam antes do ensaio ser iniciado e não foram consideradas.	Observou-se um aumento das áreas já degradadas ao final do ciclo anterior. Estas áreas concentram-se próximas à argamassa que está se desfazendo gradualmente desde o ciclo anterior, bem como próximo às marcas na superfície do provete, ocasionadas no momento da confecção do mesmo.	Ao final do 3º dia de simulação de chuvas e seca, o provete sofreu o descolamento dos dois BTCs que o compunham, em razão do enfraquecimento da argamassa de rejunte entre eles. A análise seguiu no BTC superior, que apresentou aumento progressivo de perda de massa na área atingida pelo jato de água, sendo possível identificar o raio de atuação da água. Nesta área, foi possível perceber o aparecimento de pedriscos pertencentes ao solo utilizado no experimento.
	Dim.	-	-	A dimensões gerais totais são de aproximadamente 90mm de comprimento e pouco mais de 10mm de profundidade.	-







BTC 5 (cal viva c/ pintura de cera de abelha e resina de pinheiro)	Registro visual		 	 	 
	Avaliação	-	O provete não sofreu nenhum tipo de perda visível, nem mesmo a argamassa de rejunte. A unidade recebeu uma pintura com verniz de cera de abelha com resina de árvore de pinheiro (ver item 6.4.2), que protegeu a superfície da atuação do jato de água, formando gotículas na superfície e expelindo os jatos que caíam sobre a superfície do provete. Observou-se que após o período de secagem na estufa a 70°, o provete adquire temperatura superior aos outros provetes que foram submetidos à secagem nas mesmas condições. Pôde-se verificar ainda, que a água contida no seu interior evapora com o calor que sai pela face inferior do provete, a única que não recebeu a pintura do verniz natural, deixando uma marca de umidade sobre a superfície em o provete que está apoiado.	O provete não apresentou alterações visíveis de perda de massa ou descolamento do verniz, e este tornou-se mais liso e seco ao toque. Ao toque é possível perceber que o provete permanece com temperatura superior aos demais durante o período de arrefecimento, no estando, a perda de calor ocorre em velocidade semelhante aos demais, o que foi verificado com a ajuda de um termômetro para superfície. Repete-se a evaporação de água pela base do provete.	Ao final do 3° o provete não apresentou nenhuma alteração visual. Ao toque, o verniz mantém a mesma característica lisa e não pegajosa, assim como se mantém na mesma a temperatura mais elevada do provete em relação aos outros ensaiados nas mesmas condições e a evaporação na base do provete que causa marcas de "suor" sobre a superfície.
	Dim.	-	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente
BTC 6 (cal viva)	Registro visual	-			



	Avaliação	-	O provete era composto por dois BTCs unidos por uma argamassa à base de cal hidratada e reforçada com fibras de cânhamo. Na metade do ciclo, o bloco superior desprende-se da argamassa, e será o corpo avaliado. A superfície do mesmo não apresenta alterações perceptíveis visualmente, tendo o provete mantido sua integridade após o 1º ciclo.	O provete não apresentou quaisquer alterações visíveis após o 2º ciclo de molhagem e secagem.	O provete manteve-se íntegro em sua totalidade, sem perda de massa ou surgimento de fissuras na superfície ensaiada.
	Dim.	-	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente
<b>BTC 8 (adição de cal viva com sabão)</b>	Registro visual				
	Avaliação	-	Após o 1º ciclo do ensaio, o provete perdeu quase que instantaneamente a camada do ensaboamento. Com a perda da proteção, a superfície exposta ao jato de água começou a sofrer degradação, com perda leve de massa em áreas de maior e mais intensa ação da água. As superfícies laterais que também tiveram contato com a água, não apresentaram perda de massa visível, mas também apresentaram perda parcial ou total da camada de ensaboamento, ficando manchadas.	Após o 2º ciclo, o provete apresentou praticamente as mesmas características do ciclo anterior, permanecendo a degradação na mesma área e com poucos sinais de alterações visíveis.	Após o último ciclo de ensaio, o provete apresentou muito pouca evolução da área degradada.
	Dim.	-	-	-	O maior sulco observado na superfície ensaiada, possui profundidade de pouco mais de 4mm, enquanto os sinais de degradação estendem-se por quase toda a superfície, com uma extensão superior a 15mm de comprimento.
<b>BTC 9 (adição de cal viva com pintura de cal com babosa)</b>	Registro visual				










Avaliação	-	O provete sofreu perda gradual da pintura. Há áreas de desgaste mais superficial da superfície e uma pequena área de descolamento total da pintura, sem afetar a superfície de terra do provete. Foi possível observar também áreas em que a pintura ficou amarelada.	Após o 2º ciclo, o provete apresentou pouquíssimo sinal de aumento da degradação na superfície, sofrida já no ciclo anterior.	Após o 3º ciclo de ensaio, não foi observada evolução de degradação sobre a superfície ensaiada. A pintura apresenta o mesmo nível de desgaste desde o 1º ciclo e manchas amareladas no perímetro da área que foi mais fortemente atingida pelo jato d'água. As manchas rosas ocorreram por conta da medição de ultrassom.
Dim.	-	As dimensões gerais totais apresentadas são de pouco mais de 6mm, enquanto o da área com perda de pintura é de quase 16mm, com cerva de 1mm de profundidade.	-	-

Na tabela 4.13 estão todas as características observadas nos provetes de taipa durante o ensaio de durabilidade, em avaliação feita antes e após cada ciclo.




Tabela 4.13 - Avaliação Qualitativa de provetes de taipa








Avaliação Qualitativa Visual e com Paquímetro					
Ciclos de molhagem e secagem					
Provetes	Parâmetros	Antes dos ciclos	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo
TAIPA 1 (adição de cimento)	Registro visual	-			
	Avaliação	-	Após o 1º ciclo, o provete não apresentou alteração perceptível visualmente da superfície submetida ao jato de água.	Após o 2º ciclo, o provete não apresentou nenhum tipo de degradação visível na superfície submetida aos jatos de água.	Ao final do último ciclo, o provete permaneceu sem alterações visíveis de perda de massa ou surgimento de danos em sua superfície ensaiada.
	Dim.	-	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente	Insignificante ou inexistente
TAIPA 3 (adição de cal hidratada)	Registro visual	-			








	Avaliação	-	O provete apresentou perda considerável de massa e exposição do agregado fino da massa nas áreas onde já apresentava rugosidades provenientes do resultado da mistura da massa quando da confecção do provete, pois foi possível observar uma grande concentração de brita, usada como agregado fino na massa, nessas áreas degradadas. A presença delas mais próximas à superfície, mais a força da queda de água sobre ela, colabora com o desgaste e remoção da terra em volta.	Após o 2º ciclo, o provete apresentou um pequeno aumento de degradação nas mesmas áreas já afetadas pela água no ciclo anterior.	Após o último ciclo do ensaio, o provete apresentou um aumento pequeno, em profundidade, das áreas já desgastadas.
	Dim.	-	Dimensões máximas aproximadas de danos: 6,00mm de comprimento e 3,50mm de profundidade.	-	As dimensões totais gerais são de 91,86mm de comprimento e 4,46mm de profundidade.
TAIPA 5 (adição de cal viva)	Registro visual	-			
	Avaliação	-	Observou-se pequenas perdas de massa com surgimento de sulcos em áreas em que a superfície do provete já apresentava uma certa rugosidade proveniente do resultado de sua confecção.	O provete não apresentou nível relevante de degradação na superfície afetada, além daquelas já observadas ao final do 1º ciclo.	Após o último ciclo de ensaio, o provete não apresentou alteração expressiva da superfície ensaiada, mantendo-se preservado apesar das irregularidades da superfície.
	Dim.	-	-	-	-
TAIPA 8 (adição de cal viva)	Registro visual	-		Sem atualização do registro	Sem atualização do registro
	Avaliação	-	O provete foi submetido à simulação de chuva e perdeu praticamente a metade de seu volume total dentro de 15 minutos, principalmente na face que foi direcionada para o jato de água, quanto à base, por onde a água escorre com bastante rigor.	-	-
	Dim.	-	-	-	-











TAIPA 9 - lado A (sem adição com argamassa de cal viva)	Registro visual	-			
	Avaliação	-	A face do provete submetida ao simulador de chuva levou uma camada de argamassa de cal viva, e após o 1º ciclo de ensaio de molhagem e secagem, não apresentou nenhuma alteração aparente.	Após o 2º ciclo de molhagem e secagem, a face do provete exposta ao ensaio não apresentou nenhuma alteração visível, nem mesmo pequenas fissuras já existentes em sua borda se expandiram ou degradaram.	Nenhuma alteração perceptível visualmente foi notada na superfície ensaiada mesmo após o 3º ciclo de ensaios, nem fissuras já existentes apresentaram aumento de comprimento ou perda de massa.
	Dim.	-	-	-	-
TAIPA 9 - lado B (sem adição com argamassa de cal hidratada)	Registro visual		  		
		-	As duas primeiras imagens são durante a simulação de chuvas, a primeira assim que iniciou e a segunda após cerca de 10 min. A última imagem retrata o provete após o período de secagem na estufa a 70°.	Imagem do provete após o período de secagem na estufa a 70°.	Imagem do provete após o período de secagem na estufa a 70°.



	Avaliação	Antes do início do ensaio a superfície do provete a ser ensaiada já apresentava imperfeições, com grandes fissuras que cobre quase toda a superfície, formadas ainda no período de cura da argamassa, além de marcas causadas pelo gradil do equipamento de simulação de chuvas, em que foi apoiada algumas vezes durante o ensaio da superfície oposta do provete.	Durante o 1º ciclo da simulação de chuva, observou-se a impregnação de água e alastramento da umidade à partir das grandes fissuras na superfície da argamassa, que tomou conta de toda a área até o fim do período de ensaio. Após o período de seca na estufa, foi possível observar perda de umidade mais intensa nas áreas adjacentes ao longo das fissuras, assim como também foi constatado este efeito nas bordas das marcas de gradil já existentes, o que mostrou que a impregnação de água e também sua evaporação ocorrem de forma mais intensa e rápida à partir destes sinais de degradação. Apesar da condição, não foi observado aumento da degradação nem piora do estado da argamassa ou da taipa após o ciclo.	Após o 2º ciclo, observou-se as mesmas características do ciclo anterior na superfície do provete. As áreas em torno do das fissuras e marcas do gradil encontravam-se mais claras, por onde a umidade evaporou com mais facilidade durante o período de secagem na estufa.	Apesar de todas as imperfeições previamente apresentadas na superfície ensaiada, não foram observados sinais de degradação a partir de nenhum deles após o último ciclo de ensaios. Porém, foi verificado que através das fissuras a água infiltrou-se mais facilmente, no entanto, não causou esfrelamento ou enfraquecimento da argamassa. Foi observada também uma perda mais rápida de umidade nas áreas adjacentes às fissuras e às marcas de gradil, causadas pelo ensaio anterior do lado oposto do provete.
	Dim.	-	-	-	-
<b>TAIPA 10 - lado A (sem adição argamassa de cal viva e pintura de cal e pigmento)</b>	Registro visual	-			
	Avaliação	-	Após o 1º ciclo de molhagem e secagem o provete apresentou perda de pigmentação na área de maior intensidade do jato de água, tendo a perda total da pintura em alguns pontos, chegando a formar pequenos sulcos.	Após o 2º ciclo de ensaios, a superfície ensaiada apresentou alterações em relação ao ciclo anterior. Foi verificado um pequeno aumento da área associada a perda de pigmentação. Não foi observado o surgimento de novos sulcos ou crescimento daqueles já existentes.	Após o 3º ciclo de molhagem e secagem, a superfície ensaiada do provete apresentou mais, e em menor grau, perda de pigmentação nas áreas de maior intensidade do jato de água. Não apresentou crescimento dos sulcos que surgiram no primeiro ciclo, e nem houve surgimento de novos. Os sulcos não ultrapassaram a superfície da argamassa, esta permanecendo intacta, enquanto a degradação afetou apenas a nível de pintura.
	Dimensão da degradação	-	-	-	O maior sulco apresenta comprimento máximo de 4mm e profundidade máxima de 1mm.

TAIPA 10 - lado B (sem adição argamassa de cal viva e pintura de óleo com soda cáustica)	Registro visual				
	Avaliação	A superfície do provete já apresentava imperfeições antes mesmo de ser exposta ao 1º ciclo de ensaios, com uma fissura próxima ao centro da superfície; imperfeições nas bordas, e manchas da coloração, provenientes da água que escorreu durante o ensaio da superfície oposta, que ocorreu anteriormente.	Após o 1º ciclo, observou-se a suavização de algumas marcas preexistentes na superfície, provavelmente pela possível remoção de uma fina camada de terra da superfície ensaiada, enquanto as manchas da coloração presentes, causadas pelo ensaio anterior, permaneceram.	Após o 2º ciclo, o provete não apresentou desgaste expressivo, mas a superfície aparentou um aspecto mais liso, com a suavização de algumas imperfeições.	Após o último ciclo, foi possível perceber uma leve remoção da camada mais superficial da face ensaiada do provete, como um leve desgaste, de forma a parecer suavizar a aspereza da superfície. Não foi observado o aumento ou aprofundamento das imperfeições e pequenas fissuras presentes, e ainda é possível identificar as manchas causadas pelo escoamento da água durante o ensaio anterior da face posterior do provete.
	Dim.	-	-	-	-
TAIPA 11 - lado A (em adição argamassa de cal hidratada e pintura de cal e pigmento)	Registro visual	-			
	Avaliação	-	Após o 1º ciclo do ensaio, o provete apresentou um clareamento da camada de pintura, e áreas de perda parcial ou total da mesma.	Após o 2º ciclo, foi observado um aumento da área já degradada, com aumento do desgaste do pigmento e de áreas de perda total do mesmo.	Após o último ciclo, a superfície apresentou aumento da perda da pintura em áreas localizadas onde há maior incidência do jato de água. As áreas afetadas vão desde a perda parcial da pintura, observando-se níveis diferentes de desgaste, até a perda total da mesma em pontos específicos. Nos pontos onde a argamassa tornou-se visível, observou-se uma leve perda de massa, que pode ter ocorrido devido força da água no local ou mesmo ter saído junto com a tinta no momento em que esta foi removida.
	Dim.	-	-	-	As dimensões totais das áreas afetadas são, em média, de 25-30mm de comprimentos e aproximadamente 2mm de profundidade.

TAIPA 11 - lado B (sem adição argamassa de cal viva e pintura de óleo com soda cáustica)	Registro visual				
	Avaliação	O provete apresentava uma argamassa de superfície rugosa, com partículas de fibras de cânhamo aparentes e uma fissura de tamanho pequeno, aparentando ser bem superficial.	As alterações ocorridas na superfície do provete são muito sutis, como a remoção das partículas de fibra de cânhamo, utilizada na confecção da argamassa. Aparentemente, a remoção dessas partículas não causaram danos ou alterações à superfície.	Após o 2º ciclo de ensaios, não se percebeu uma grande mudança em relação ao ciclo anterior, a não ser a remoção de mais algumas pequenas fibras de cânhamo, sem causar nenhum outro dano.	Ao final do último ciclo, não foram observadas alterações significativas, exceto pela remoção de mais algumas partículas de fibra de cânhamo utilizada na mistura da argamassa, sem causar qualquer dano à superfície do provete. As fissuras na face ensaiada também se encontram com o mesmo aspecto do início dos ciclos.
	Dim.	-	-	-	-
TAIPA 12 - (sem adição argamassa de cal hidratada e pintura de cera de abelha e resina de pinheiro)	Registro visual				Sem atualização do registro
	Avaliação	-	O provete sofreu bastante perda de material em sua base, onde não recebeu a pintura de verniz (ver item 6.4.2), e durante o manuseio o provete continuou a perder massa. A argamassa de superfície e demais faces do provete que receberam a pintura com o verniz, não apresentam perdas significativas, com exceção do perímetro inferior das laterais do provete, onde não há argamassa e adjacente à área que se degradou com a ação da água.	O provete sofreu mais perdas significativas, tanto na base, desde o primeiro ciclo, quanto nas superfícies laterais, que se enfraqueceram, apesar do verniz natural, resultando em cascas finas, já que houve perda de material no interior do modelo. O resultado disso foi a perda total da base apoiada sobre a grade do simulador, que fez o provete rolar para baixo, quebrando a argamassa da parte frontal do provete, que até então estava intacta, partindo-se em pedaços, restando apenas pouco mais da metade de sua dimensão inicial.	
	Dim.	-	-	-	

TAIPA 13 (adição de cal viva com sabão)	Registro visual				
	Avaliação	-	O provete apresentou perda de massa na superfície submetida ao ensaio, principalmente ao longo das fissuras já preexistentes na superfície. Observou-se também perda de massa nas bordas da superfície, onde já havia imperfeições e desagregamento de material.	Observou-se após o 2º ciclo, que o provete não apresentou aumento de degradação nas áreas já afetadas e nem novas ocorrências.	Após o último ciclo, o provete não apresentou alteração da área degradada, assim como as fissuras e sulcos continuam aparentemente com as mesmas dimensões de antes. Observou-se que a superfície da taipa não sofreu nenhuma alteração, tendo esta ocorrido apenas à pintura.
	Dim.	-	A área afetada é generalizada, principalmente onde sofre mais com a força da água, formando um sulco de quase 3mm de profundidade.	-	A maior profundidade de um dos sulcos é de 2,5mm, enquanto os sinais de degradação superficiais estendem-se por aproximadamente 15mm.
TAIPA 14 (adição de cal viva com pintura de cal com babosa)	Registro visual		 	 	
	Avaliação	-	Observou-se grande perda da camada de pintura, ficando a superfície da taipa mais exposta, ao ponto de perder massa e formar sulcos. Foi observada a formação de uma mancha de gotículas na superfície em que o provete foi colocado, causada pela evaporação da base do provete, que não recebeu a pintura.	Percebeu-se após o 2º ciclo, que o provete não apresentou alterações visíveis da degradação iniciada no ciclo anterior. O provete apresenta também marcas de evaporação sobre a superfície em que foi colocado após o período na estufa.	Após o último ciclo, observou-se mais perda de área de pintura, sendo apenas perda superficial na maior parte, permanecendo conservada a maior parte da superfície de terra do provete. No entanto, foi possível observar alguns pontos de maior desgaste, formando sulcos, onde houve perda de massa da taipa.
	Dim.	-	A área de perda da pintura é generalizada, afetando quase toda a superfície ensaiada, enquanto o sulco formado mais profundo atinge 1,5mm de profundidade.	-	A área de degradação da superfície é generalizada, com o maior sulco apresentando quase 2mm de profundidade.

#### 4.5.2 Erosão acelerada por jato de água

Durante o ensaio os provetes foram avaliados quanto à variação de massa. Levou-se em consideração para a variação de massa entre ciclos, o valor da massa inicial do provete após a secagem pré ciclos e após o ciclo de chuva e secagem de cada um dos três ciclos que se seguiram. Os provetes sofreram perda de massa no ensaio de erosão, alguns bem visíveis como é o caso de alguns dos provetes sem adição de estabilizantes, noutros o provete não apresenta perdas visuais e até parecem indicar que a sua massa foi aumentada nas medições, mas ainda assim sofrem perda, e isso pode ser notado em outros tipos de ensaio, como por exemplo a medição de ultrassom, que indica aumento de vazios no interior do provete. Outro fator que mascara a perda de massa é o período de secagem que pode não ser suficiente para evaporar totalmente a água impregnada nos provetes a tempo da medição.

Na tabela Tabela 4.14 estão apresentados os resultados da variação de massa de cada BTC entre cada ciclo e também a variação de massa entre o primeiro e o último ciclos, tudo em percentagem.

Tabela 4.14 - Variação de massa entre ciclos de BTC

Provetes de BTC	Variação de massa após 1º ciclo (%)	Variação de massa após 2º ciclo (%)	Variação de massa após 3º ciclo (%)	Variação de massa 1º - 3º ciclos (%)
<b>BTC 1</b> - adição de cimento	3,5	3,3	3,2	-0,3
<b>BTC 3</b> - adição de cal hidratada	2,9	2,8	-2,2	-5,0
<b>BTC 5</b> - cal viva c/ pintura de cera de abelha e resina de pinheiro	7,3	8,5	8,5	1,2
<b>BTC 6</b> - cal viva	-3,2	-2,9	-2,9	0,2
<b>BTC 8</b> - adição de cal viva com ensaboamento	1,6	1,6	1,6	0,0
<b>BTC 9</b> - adição de cal viva com pintura de cal com babosa	2,0	2,3	2,4	0,4

Entre um ciclo e outro os BTCs 1, 3, tiveram valores de variação decrescentes, enquanto os BTCs 5, 6 e 9 tiveram valores de variação crescente, ficando apenas o BTC 8 com uma variação positiva inicial, mas que se manteve estável em todos os ciclos seguintes.

No gráfico da figura 4.50 os resultados estão relacionados quanto à variação entre o 1º e o 3º ciclos. Os BTCs apresentam valores de variação de massa total entre ciclos que vão de -5% até 1,2%, valores do BTC 3 e BTC 5, de adições de cal hidratada e de cal viva com verniz de cera de abelha com colofónia, respectivamente. O BTC 1, com adição de cimento, apresentou uma variação de -0,3%; os BTCs 6 e 9, ambos com adição de cal viva, que tiveram valores próximos de

variação de massa, de 0,2% e 0,4%, sendo o último com pintura de cal viva com babosa, o que demonstrou fazer diferença na retenção de água. O BTC 8, também de adição de cal viva e com pintura de sabão de azeite não apresentou variação entre ciclos.

De modo geral, pode considerar-se que a adição de cal hidratada foi a que conferiu ao BTC maior perda de massa, ou seja, terá uma menor durabilidade. Com a adição de cimento verificasse uma ligeira perda de massa e com a cal viva não parece haver perda de massa, sem ou com acabamentos.

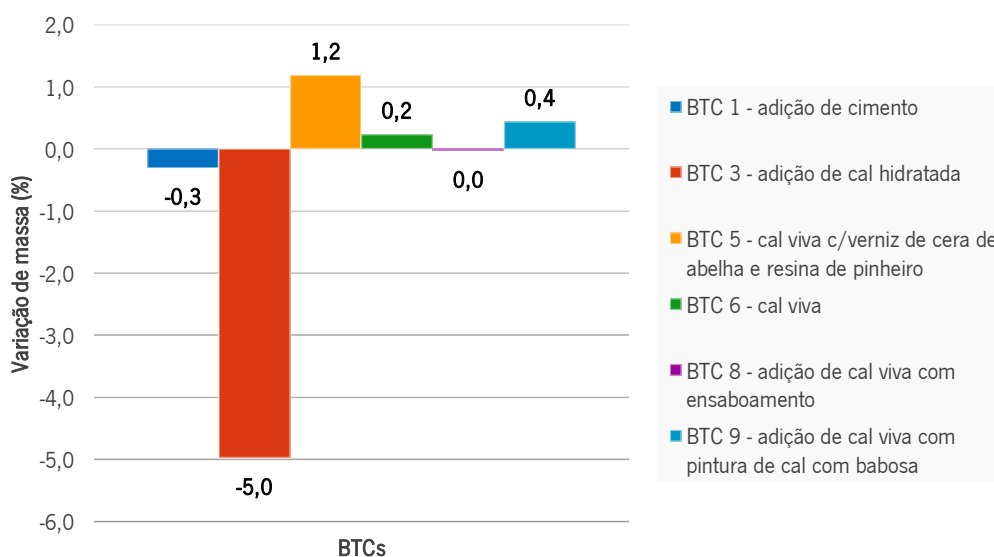


Figura 4.50 - Gráfico de relação de perda total de massa entre BTCs após ciclos

Abaixo a tabela 4.15 apresenta os valores de variação entre ciclos e a variação total de massa entre o primeiro e o último ciclo dos provetes de taipa. O conjunto de provetes apresentou valores de variação de massa que vão de -42,3% até 1%.

Os provetes de taipa 8 e 12, que não receberam adição, apresentaram perda de massa visíveis expressivas, o primeiro com uma variação de -42,3% e que só concluiu 15 minutos do primeiro ciclo. O resultado já era esperado e o ensaio foi feito para saber o quanto ele resistiria diante da erosão acelerada por chuvas. Já o provete 12 recebeu em um dos lados uma camada de argamassa de reboco de cal hidratada, lado A, enquanto o lado B recebeu apenas pintura de verniz de cera de abelha com colofônia, assim como o restante de toda sua superfície, com exceção de sua base, o que fez com que o provete começasse a perder muita massa por conta da água que escorria pela sua aresta desde o 1º ciclo, fazendo com que ao final do 2º ciclo, e também o último deste provete, obtivesse uma grande perda de massa, que registrou -15,5% de variação de massa.

Estes dois provetes de taipa, 8 e 12, têm seus valores apresentados na tabela, marcados em vermelho por se destacarem nos resultados, demonstrando grande perda de massa. No entanto, não estão representados no gráfico da figura 4.58 porque a expressão de seus valores de variação destacavam-se muito dos demais, deixando os resultados dos outros provetes praticamente impossíveis de serem visualizados.

Tabela 4.15 - Variação de massa entre ciclos de provete de taipa

Provetes de BTC e Taipa s/c adições	Variação de massa após 1º ciclo (%)	Variação de massa após 2º ciclo (%)	Variação de massa após 3º ciclo (%)	Variação de massa 1º - 3º ciclos (%)
<b>Taipa 1</b> - adição de cimento	2,0	2,2	2,3	0,3
<b>Taipa 3</b> - adição de cal hidratada	2,2	2,8	3,1	0,8
<b>Taipa 5</b> - adição de cal viva	2,4	2,8	2,9	0,5
<b>Taipa 8</b> - sem adição	-42,3	-	-	-42,3
<b>Taipa 9A</b> - sem adição + argamassa de cal viva	2,9	3,8	3,9	1,0
<b>Taipa 9B</b> - sem adição + argamassa de cal hidratada	1,8	2,0	1,7	-0,1
<b>Taipa 10A</b> - sem adição + argamassa de cal viva e pintura de cal e pigmento	1,0	1,2	1,3	0,3
<b>Taipa 10B</b> - sem adição + argamassa de cal viva e pintura de óleo com soda cáustica	0,5	0,4	0,2	-0,3
<b>Taipa 11A</b> - sem adição + argamassa de cal hidratada e pintura de cal e pigmento	0,3	0,4	0,3	0,1
<b>Taipa 11B</b> - sem adição + argamassa de cal viva e pintura de óleo com soda cáustica	0,5	0,6	0,6	0,1
<b>Taipa 12A</b> - sem adição + argamassa de cal hidratada e pintura de cera de abelha e resina de pinheiro	-8,0	-22,3	-	-15,5
<b>Taipa 12B</b> - sem adição + pintura de cera de abelha e resina de pinheiro	-	-	-	-
<b>Taipa 13</b> - adição de cal viva + ensaboamento	1,9	1,7	1,7	0,5
<b>Taipa 14</b> - adição de cal viva + pintura de cal com babosa	2,6	3,0	3,1	0,3

Os provetes em sua maioria apresentaram variação positiva entre ciclos, ou seja, apresentaram aumento de peso no decorrer dos ciclos, provavelmente porque o período de secagem não tenha sido suficiente para evaporar toda a água, esta tendo ficado acumulada no interior dos provetes.

Os demais provetes sem adição, receberam acabamentos e pinturas, e obtiveram pequena variação de massa entre o 1º e o 3º ciclos, sendo o provete de taipa 9 lado A o que teve a maior variação, de 1%, com argamassa de cal viva, contra -0,3% do provete de taipa 10 lado B, com argamassa de cal viva e pintura de óleo com soda cáustica. O provete taipa 11 obteve valores muito próximo do zero, dentre variação total e entre ciclos também (Figura 4.51).

Esses provetes sem adição e com acabamentos foram ensaiados duas vezes, um lado de cada vez, para que fosse verificado como se comportavam os diferentes acabamentos que cobriam duas das faces de cada provete. Os provetes de taipa 9 e 10 obtiveram resultados muito distintos entre cada um dos seus lados, já o provete 11 cada um de seus lados tiveram variação mais próxima.

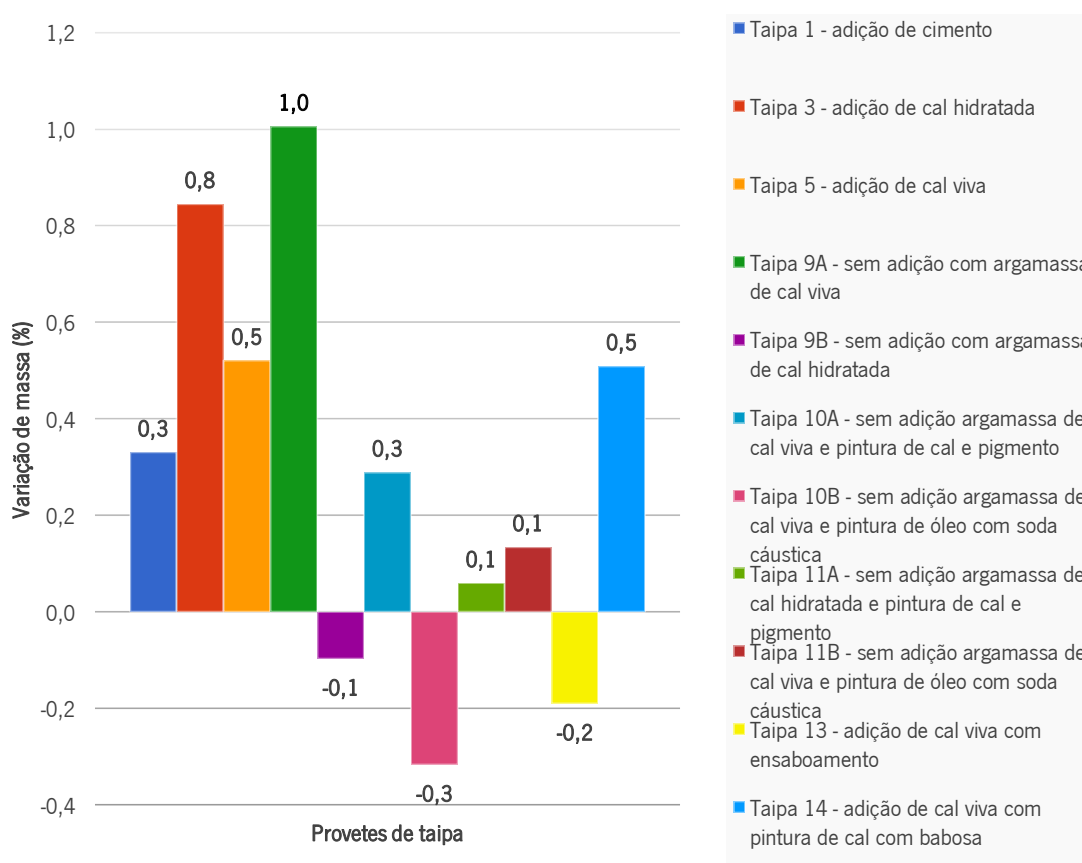


Figura 4.51 - Gráfico de variação de massa entre 1º e 3º ciclos dos provetes de taipa

Relativamente ao efeitos dos ligantes usados, todos tiveram um efeito positivo, apresentando mesmo algum ganho de massa. Relativamente aos acabamentos em taipa com adição de cal viva (Taipa 13 e 14), observa-se que a passagem com água de sabão de azeite foi prejudicial, talvez porque este foi aplicado no estado seco e não humido para o sabão poder reagir com a cal do



provete e formar um sabão de cal que não se dissolve em água (Leis et al., 2016). Em relação à taipa sem adição, apesar de sem acabamento não ter durabilidade, a aplicação de argamassa de recobrimento com cal viva resultou tão bem como a taipa com estabilizantes. Já as pinturas testadas não tiveram efeito significativo e em alguns casos até prejudicou um pouco a durabilidade como na Taipa 10B com óleo e soda caustica.

Segundo pesquisa na literatura, não se encontram valores limite oficiais de admissão de perda de massa para este tipo de ensaio, alguns estudos apontam resultados de até 1%, enquanto outros de até 2% Eires (2012).

Neste caso, os resultados apenas apresentam perda de massa, ou seja, valores negativos no caso do BTC com cal hidratada (máximo de -2,2% no 3º ciclo), no BTC com cal viva (-3,2% no 1º ciclo), ou seja, um pouco abaixo dos valores referidos. E no caso das amostras de taipa, apenas houve perda de massa na taipa sem adição, tendo sido mesmo necessário parar o ensaio antes do final dos 3 ciclos e na taipa sem adição com revestimento de verniz natural, com e sem argmassa, também houve paragem do ensaio, mas o resultado foi pior sem argmassa que não resistiu desde o 1º ciclo. Como tal, pode-se considerar que no caso do BTC a adição de cimento teve um melhor desempenho na durabilidade. No caso da taipa, todos ligantes adicionados tiveram bom desempenho e na taipa sem adição as argmassas melhoram a durabilidade, sobretudo a argmassa de cal viva.

Sobre as argmassas de assentamento utilizadas entre alguns BTCs ensaiados, formando uma mini parede, com exceção da argmassa com adição de cimento, as argmassas de cal hidratada não resistiram ao efeito das chuvas e a movimentação de posicionamento diário dos ciclos do ensaio de durabilidade. Por fim, os blocos que ficaram desunidos, seguiram até o final dos ciclos apenas a unidade superior. O bloco inferior do provete com adição de cal hidratada que se soltou ao final do 2º ciclo, caiu no fundo do tanque, ficando submerso, onde permaneceu até o final dos ensaios, mais de um mês depois, e por observação visual feita, mostrava-se fisicamente inteiro.

#### 4.5.3 Análise de ultrassom

O gráfico da figura 4.52 mostra a média das três leituras ultrassônicas feitas antes dos ciclos e depois dos ciclos, para cada BTC. O BTC1, que recebeu adição de cimento, apresentou velocidade de transmissão significativamente maior do que os outros BTCs, com adições de cal, com velocidades de transmissão inferiores e muito próximas umas das outras.

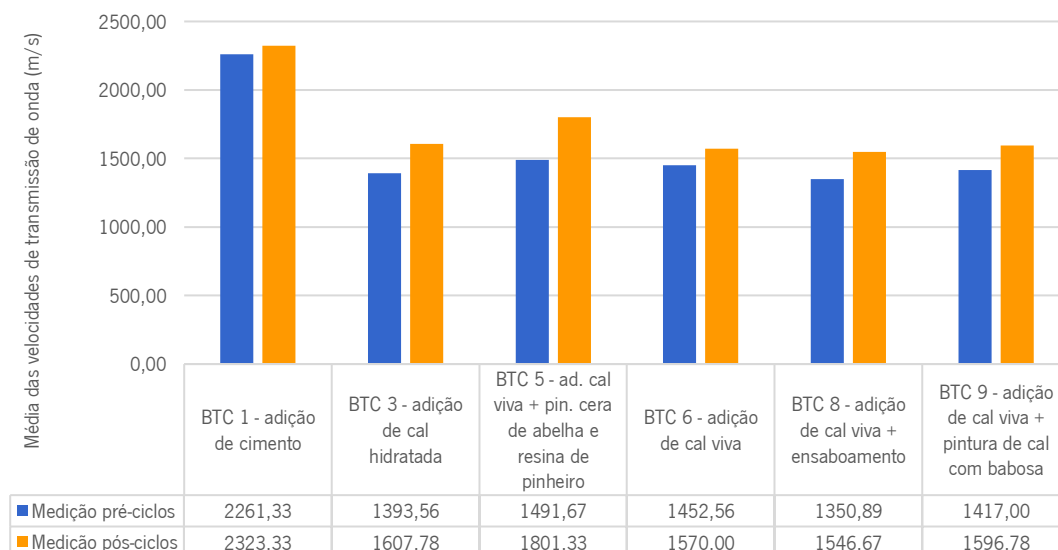


Figura 4.52 – Relação de velocidade média de transmissão de BTCs entre 1º e 2º ciclos

A velocidade de transmissão de ondas ultrassônicas permite a avaliação de compacidade de um material, verificando uma diminuição de velocidade na presença de vazios. Essa diferença entre o BTC1 e os BTCs com adições de cal poderiam indicar que a presença de cimento numa mistura de terra compactada diminui ainda mais os vazios no interior do provete, mas seriam necessários outros testes para comprovar isto.

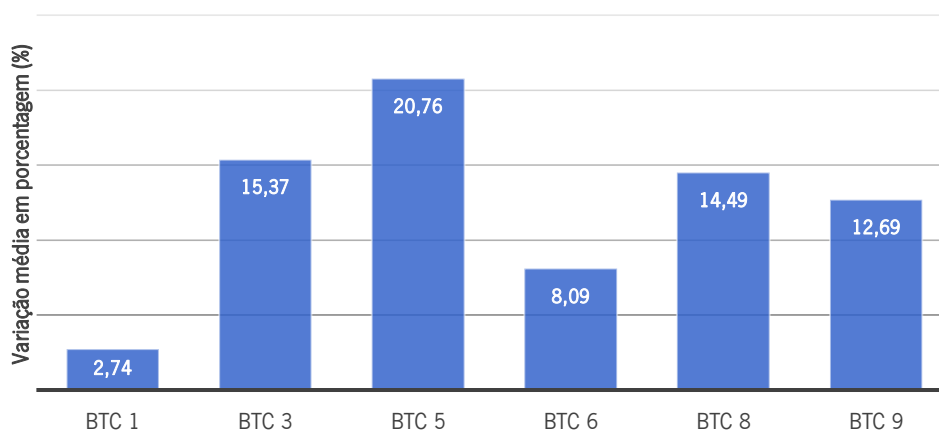


Figura 4.53 – Comparação da variação média de velocidade de transmissão entre BTCs

No gráfico da figura 4.53 é feita uma comparação da variação de velocidade de transmissão dos BTCs, antes e depois dos ciclos. Em todos eles a variação é positiva, ou seja, aumentou a velocidade de transmissão após os ciclos de exposição à água, o que se pode justificar. No caso do cimento, a presença de água aumenta a formação de cristais sólidos e promovem a compacidade do material. No caso da cal aérea, o endurecimento dá-se por carbonatação, que

também pode ser aumentada na presença de alguma água, se considerarmos que a água transporta CO<sub>2</sub>, promovendo também a coesão do material.

Verifica-se também que o BTC 1, embora seja o de maior velocidade de transmissão, é o que tem menos variação de velocidade antes e depois dos ciclos, o que mostra que após o ensaio de durabilidade por erosão de chuvas, o bloco não apresenta aumento da quantidade de vazios, mas o contrário. Já os provetes com adições de cal obtiveram variações maiores entre antes e depois dos ciclos, sendo o BTC5, de adição de cal viva com pintura de verniz de cera de abelha com resina de pinheiro, o que apresentou maior variação, superior a 20%. E dentre os BTCs com adições de cal que menos teve variação de transmissão de velocidade foi o BTC6, com adição de cal viva sem acabamentos.

O gráfico da figura 4.54 apresenta os resultados da análise de ultrassons feita nos provetes de taipa, que foram aferidas antes e após serem submetidas ao total de 3 ciclos do ensaio de durabilidade. Os resultados mostram que a Taipa 1, com adição de cimento, tem velocidade de transmissão maior e bem expressiva em relação aos outros provetes de adições de cal, pela razão dada na justificativa referida no resultado dos BTCs, a presença de cimento na mistura do provete diminui os espaços vazios dentro dele.

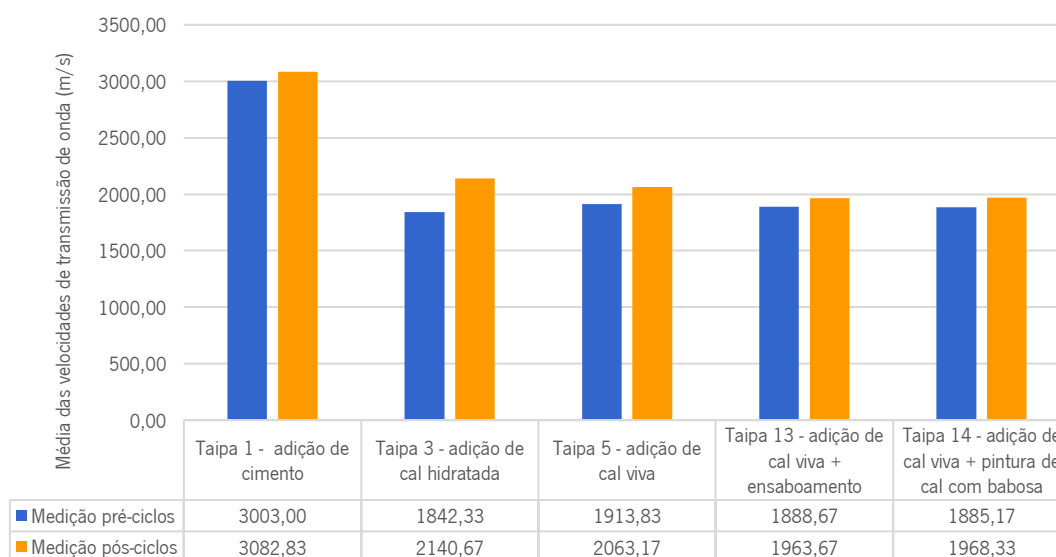


Figura 4.54 - Velocidade média de transmissão em provetes de taipa entre 1º e 2º ciclos

O gráfico da figura 4.55 mostra a variação da velocidade de transmissão entre os provetes de taipa, considerando a variação média de velocidade entre as medições pré-ciclo e pós-ciclo de cada provete. O provete Taipa 3 apresenta ter a maior variação, sendo ele com adição de cal

hidratada e sem barramentos, demonstrando ter tido possivelmente uma maior perda de massa após o ensaio de durabilidade, dentre os provetes que tiveram a medição de ultrassom aferida. O provete Taipa 1, com adição de cimento, foi o que menos variou, tendo uma diferença bem pequena em relação ao provete Taipa 13, de apenas pouco mais de 1%, seguido pelo provete Taipa 14, com o qual também mantém uma pequena diferença, de quase 2%, ficando o provete Taipa 5 praticamente na média na relação de variação entre os provetes do conjunto.

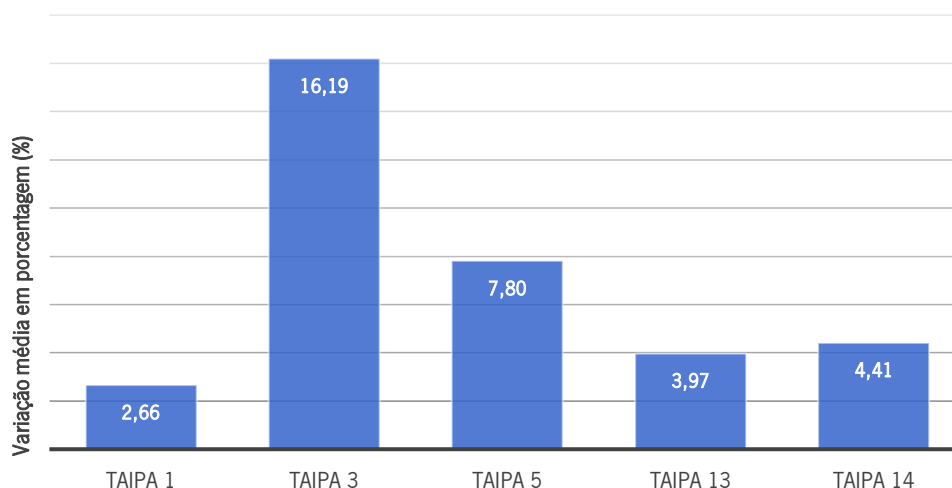


Figura 4.55 - Comparação da variação média de velocidade de transmissão entre provetes de taipa

Os provetes de taipa que receberam acabamentos distintos em mais de uma face não tiveram aferidas as medições de ultrassom, pois não haveria como analisar o valor de um único provete que tenha sido influenciado por ações sofridas em ensaio anterior pelas superfícies de acabamentos diferentes.

#### 4.5.4 Resistência mecânica à compressão

O gráfico da figura 4.56 apresenta os valores de limites de resistência dos BTCs, apresentando-se as resistências dos BTCs submetidos a ensaio de simulação de chuva por erosão acelerada com jato de água aos 120 dias, aproximadamente, e dos BTCs que não foram submetidos a este ensaio para avaliação da perda de resistência quando os blocos de terra comprimidos são expostos à chuva.

As cores dividem os modelos por tipo de adição e quando contém acabamentos, para que possam ser comparados os exemplares de mesmo tipo que foram ensaiados quanto a durabilidade à ação da água e os que não foram. Os azuis são os provetes com adição de cimento, o BTC 1, azul mais escuro, é o que apresentou maior resistência (9,6MPa) dentre todos os BTCs, sendo este também

ensaiado quanto a durabilidade. O mesmo acontece com os provetes com adição de cal viva, representados pelas barras laranjas, sendo o BTC 6, laranja escuro, aquele que passou pelo ensaio de durabilidade, apresentando maior resistência do que o seu semelhante que não passou pelo ensaio anterior. Já com os BTCs com adição de cal hidratada, em vermelho, ocorreu o contrário, o BTC 3, ensaiado anteriormente quanto a durabilidade à água, apresentou resistência inferior ao seu semelhante não ensaiado, o BTC 4. Os BTCs representados pela cor verde são aqueles com adição de cal viva e barramentos/pintura, todos ensaiados anteriormente quanto a durabilidade à água e o que apresentou maior resistência foi o BTC 9 que recebeu pintura de cal viva com babosa. Entre estes provetes com cal viva, o único que teve menor resistência com a exposição à chuva foi o BTC 5, com pintura de cera de abelha e resina de pinheiro, contudo, não apresenta uma diferença significativa relativamente ao provete que não foi submetido a ensaio de erosão.

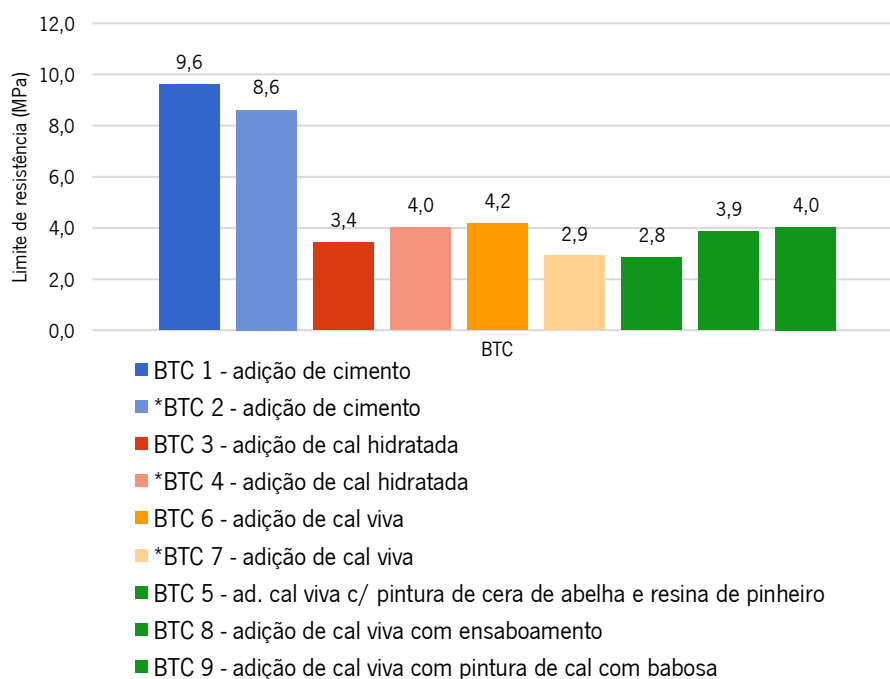


Figura 4.56 – Limites de Resistência de BTC

(Nota: Estão marcados com “\*” os BTCs que não foram submetidos a erosão de água)

O BTC 5 também apresentou uma característica diferente em relação a todos os outros (Figura 4.57). Ao se partir, ele tinha um aspecto úmido no interior, com as bordas em cor mais clara, aparentando estar mais seco próximo às superfícies do que em camadas mais profundas, como pode ser observado na imagem abaixo. Este aspecto ajuda a justificar a menor resistência obtida comparativamente aos BTCs 8 e 9, uma vez que revela que o provete não terá secado na totalidade devido à pintura mais impermeável.



Figura 4.57 - BTC 5 após ensaio de compressão

Tal como nos resultados à resistência dos BTCs, é possível observar no gráfico da figura 4.58 que os exemplares com adição de cimento apresentaram resistência muito superior a todos os outros exemplares com adições de cal. Mas no caso dos provetes de taipa, o BTC 1, ensaiado quanto a durabilidade às chuvas teve menor desempenho do que o seu similar que não passou pelo mesmo ensaio. Já os provetes de taipa com adições de cal hidratada e cal viva representadas pelas cores vermelho e laranja, respectivamente, apresentaram maior resistência aqueles que passaram pelo ensaio de durabilidade anteriormente do que aqueles que só foram testados quando a resistência mecânica à compressão.

Os provetes de taipa 13 e 14, com adição de cal viva com pinturas de sabão de azeite de oliva e pintura de cal viva com babosa, representadas pela cor azul petróleo, obtiveram valores de resistência similares aos provetes com adições de cal que não receberam barramentos. Já os provetes sem nenhuma adição e com barramentos, os provetes de taipa 9, 10 e 11, apresentaram os mais baixos níveis de resistência, indicando que as argamassas não foram o suficiente para proteger a taipa sem qualquer adição de material ligante sem que houvesse perda de resistência. No entanto, é preciso recordar que o provete de taipa sem adição ficou destruído durante o ensaio de simulação de chuva, ou seja, sem qualquer resistência. Como tal, as argamassas verifica-se que estas podem conferir alguma proteção.

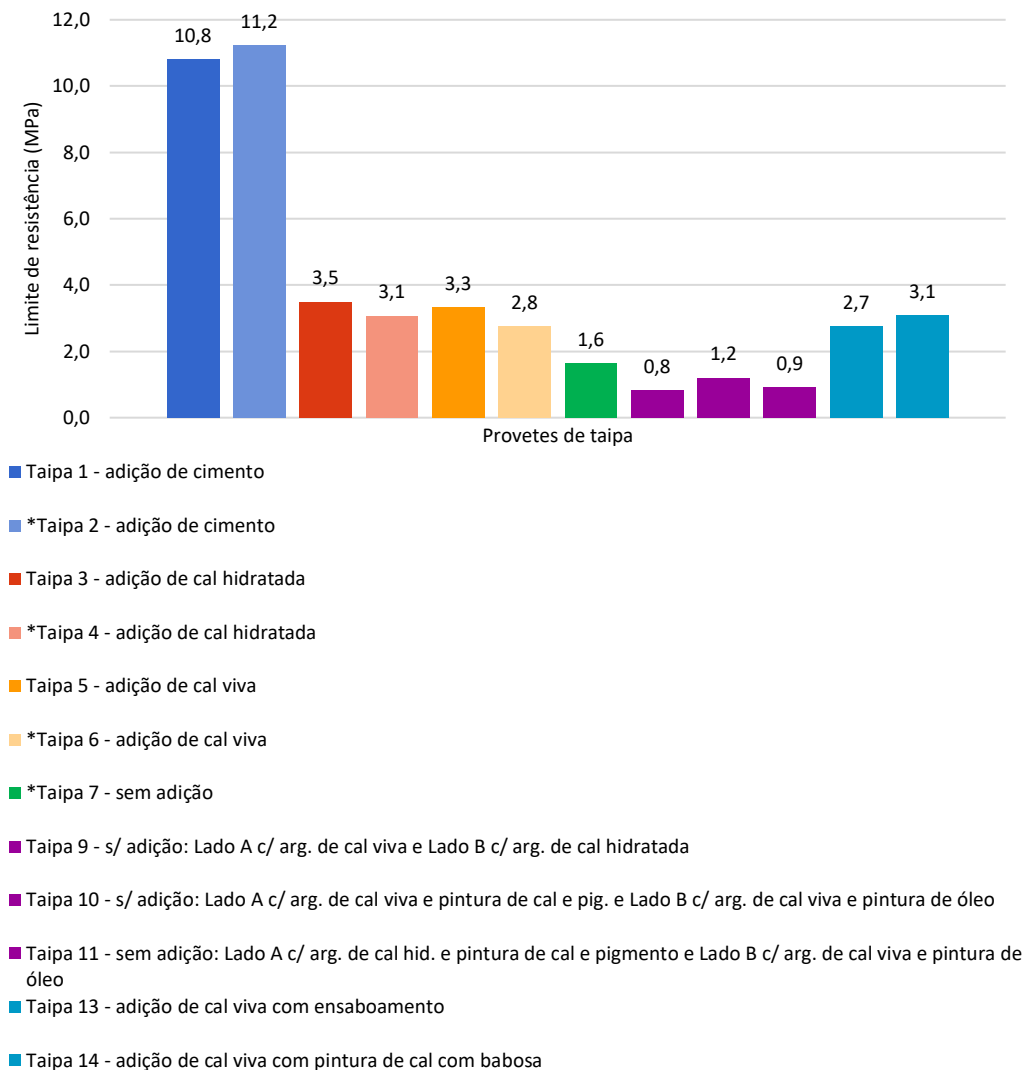


Figura 4.58 – Limites de resistência de provetes de taipa

(Nota: Estão marcados com “\*” os Provetes de taipa que não foram ensaiados quanto a durabilidade à erosão de água)

Resumindo, ao comparar os resultados com e sem exposição à chuva, verifica-se que no BTC o cimento e a cal viva aumentaram a resistência quando submetidos à água. Já na taipa, foi a cal hidratada e a cal viva que aumentaram a resistência com a água. Como tal, não se verifica o mesmo padrão, o que indica a existência de outros fatores contribuem para a resistência do material além da água poder potenciar a formação de cristais sólidos, como já foi referido na análise de resultados de ultrassom.

#### 4.6 Relação entre os resultados da análise de ultrassom e da resistência à compressão

É possível, através da realização do ensaio de ultrassom, obter informações relativas à homogeneidade de um material, nomeadamente a presença de vazios ou a existência de fendas,

em que materiais menos compactos apresentam valores de velocidade de propagação de ondas inferiores aos de materiais mais compactos, podendo ainda relacionar, de certa forma, os valores obtidos com os valores de resistência à compressão do material (Abreu, 2013).

Desta forma, foi feita uma relação entre os resultados obtidos no ensaio de ultrassom, onde aferiu-se a velocidade da transmissão de ondas através da massa dos provetes antes e depois dos ciclos de molhagem e secagem do ensaio de erosão acelerada por jato de água. O contato com água propicia a coesão dos materiais, o que acarreta um aumento da velocidade de transmissão das ondas pelos provetes, e ocorreu com todos os provetes ensaiados. No entanto, um aumento exagerado dessa velocidade pode indicar perda de massa e consequente perda de resistência mecânica à compressão. A seguir é possível conferir a análise da relação entre os resultados da velocidade de transmissão de ondas dos provetes e sua performance quanto a resistência à compressão de ambas as tipologias de provetes, BTC e taipa, e que foram destacados os melhores resultados em azul e os piores resultados em vermelho.

Tabela 4.16 - Relação entre resultados de ultrassom e compressão dos BTCs

<b>Relação entre os resultados dos BTCs</b>		
Provetes	Resultados	
Tipologia	<b>Variação média velocidade de transmissão (%)</b>	<b>Resistência à compressão (Mpa)</b>
<b>BTC 1</b> - adição de cimento	2,74	9,6
<b>BTC 3</b> - adição de cal hidratada	15,37	3,4
<b>BTC 5</b> - cal viva + verniz cera abelha e resina de pinheiro	20,76	2,8
<b>BTC 6</b> - cal viva	8,09	4,2
<b>BTC 8</b> - adição de cal viva com ensaboamento	14,49	3,9
<b>BTC 9</b> - cal viva + pintura de cal viva com babosa	12,69	4,0

Acima na tabela 4.16 é possível observar a relação entre o aumento da velocidade de transmissão de ondas com o resultado da resistência mecânica à compressão dos BTCs. Em relação à amostra com adição de cimento já era de se esperar melhores resultados em relação àquelas com adições de cal, mas é justamente numa comparação entre estas amostras de cal que se pode conferir que



o pior índice de resistência é do BTC com maior variação de transmissão de ondas entre o momento anterior aos ciclos de molhagem e secagem e após o fim destes ciclos, e observa-se nos outros provetes que quanto menor a variação de transmissão, maior a resistência à compressão.

O resultado obtido nesta relação para o BTC 5 que teve adição de cal viva e recebeu pintura de cera de abelha com verniz de pinheiro pode ser explicado pelo fato de que o provete entrou em contato com a água através da sua face inferior, a qual não recebeu a pintura do verniz, durante os ciclos de molhagem e por conta de sua camada protetiva de verniz, também não conseguiu perder toda ou boa parte da água absorvida durante o período de secagem, o que também é possível observar no aspecto do interior do provete após o ensaio de resistência à compressão, em que apresentava uma coloração mais escura e um aspecto mais úmido do que os outros provetes ensaiados da mesma forma. A aplicação e as propriedades deste verniz como elemento protetivo da construção em terra carecem de melhor análise e estudo, visto que de fato repele a água da superfície em que é aplicado e se tivesse sido aplicado sobre a superfície do provete completamente, poderia ter obtido melhores resultados, se mostrando um bom método protetivo, desde que também não interfira na propriedade higroscópica do solo, ponto importante a ser considerado no uso de qualquer tipo de protetivo.

Tabela 4.17 - Relação entre resultados de ultrassom e compressão dos provetes de taipa

<b>Relação entre os resultados dos provetes de taipa</b>		
Provetes	Resultados	
Tipologia	<b>Varição média velocidade de transmissão (%)</b>	<b>Resistência à compressão (Mpa)</b>
<b>Taipa 1</b> - adição de cimento	2,66	10,8
<b>Taipa 3</b> - adição de cal hidratada	16,19	3,5
<b>Taipa 5</b> - adição de cal viva	7,80	3,3
<b>Taipa 13</b> - adição de cal viva com ensaboamento	3,97	2,7
<b>Taipa 14</b> - cal viva + pintura de cal viva com babosa	4,41	3,1

Igualmente, ocorre melhor desempenho do provete com adição de cimento em relação aos demais, com adições de cal, no caso provetes de taipa, como mostra a tabela 4.17 Já a maior

variação média de velocidade de transmissão do provete de taipa com adição de cal hidratada não resultou na menor resistência obtida pelo conjunto, pelo contrário, apresenta o melhor índice de resistência apresentado pelos provetes com adições de cal do conjunto. Os provetes de taipa 13 e 14 mostram baixa variação de velocidade entre o momento anterior aos ciclos e após estes, no entanto isto não contribuiu com maior resistência à compressão em comparação com os outros provetes, também com adições de cal, e com maior variação de velocidade de transmissão de ondas, o que mostra a necessidade de maior análise das propriedades e aplicação das camadas protetivas que os provetes receberam.

## 4.7 Comparação com resultados de outros autores

### 4.7.1 Ensaio de erosão acelerada por jato de água

Quanto à durabilidade da terra sofrida nos ciclos de molhagem e secagem da erosão acelerada por jato de água, o estudo de Guettala et al sobre BTC revela que no solo com adição de 5% de cimento existe uma perda de massa de 1% e no solo com adição de 8% de cal existe uma perda de massa de 2% (Guettala et al, 2005 *apud* Eires, 2012).

No entanto, neste presente estudo os valores obtidos no resultado do ensaio de erosão, não mostraram propriamente uma perda de massa dos provetes, embora tenha ocorrido variação da mesma, quase sempre com resultado positivo, ou seja, de ganho de massa. Isso se deu porque o tempo de secagem após ciclos não foi suficiente para a total evaporação de água empregada nos provetes, mas também pode significar alteração da massa. Por esta razão, os valores apresentados nos resultados da durabilidade à erosão acelerada por jato de água são referentes à variação de massa apresentada pelos provetes entre o primeiro e terceiro ciclos.

Quanto a esta variação de massa mencionada, no caso do BTC, a amostra com maior variação de massa, foi o BTC 3, com adição de cal hidratada (6%), que apresentou -5% de variação, tendo as amostras com adição de cimento (6%) e de cal viva (6%) apresentando -0,3% e 0,2% de variação, respectivamente. Já dentre os provetes de taipa, a amostra com maior variação foi a Taipa 9, um provete sem adição, quando ensaiado o lado A, com acabamento em argamassa de cal viva, apresentando 1% de variação apenas; as amostras com adições de cimento (6%), cal hidratada (6%) e cal viva (6%) apresentaram variação de 0,3%, 0,8% e 0,5%, respectivamente.

### 4.7.2 Ensaio de resistência mecânica à compressão

Relativamente a valores de referência da resistência à compressão em construções em terra, segundo Falcão, tem aproximadamente 2 a 5 Mpa, mas se o solo for estabilizado os valores podem ser mais elevados (Falcão, 2014 *apud* Gonçalves, 2016). O estudo para BTC de Guettala et al apresentou valor de resistência de 15,4 Mpa em amostras com adição de 5% de cimento; já um estudo de Mateus de taipas utilizando solos diversos sem estabilizantes, os valores de resistência encontrados dentre os tipos diferentes de solos variaram de 0,8 a 2,7 Mpa (Mateus, 2005; Guettala et al., 2006 *apud* Abreu, 2013).

Considerando esses parâmetros, os provetes com adições de cimento, em ambos os exemplares, de BTC e provetes de taipa, apresentaram resultados mais expressivos, chegando os provetes de taipa com adição de cimento a registrarem resistência de 10,8 Mpa o provete saturado e ainda maior da unidade de provete seco com 11,2 Mpa; enquanto a amostra de BTC com a mesma adição registrou 9,6Mpa a amostra saturada. Para as amostras com adição de cal hidratada os resultados foram de 3,4Mpa para o BTC e de 3,5Mpa o provete de taipa, e nos casos das amostras com adições de cal viva os resultados são 4,2 Mpa para o BTC e 3,5 Mpa o provete de taipa. Os provetes com adições de cal, com ou sem acabamentos, estes obtiveram resultados dentro do esperado para construção de terra. Já os provetes de taipa sem qualquer adição de estabilizante, apresentaram resistência inferior a 2 Mpa, mesmo os que receberam acabamentos, não estando assim adequados à construção, segundo Falcão (Falcão, 2014 *apud* Gonçalves, 2016).

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Avaliação do interesse pela construção em terra e outros materiais sustentáveis

Com base na pesquisa feita no presente estudo, foi entendido que há certo nível de interesse geral pelo assunto da construção sustentável, sobretudo da parte dos profissionais da área da construção, mas que há muito pouco conhecimento e iniciativa de implementação de ações e mudança de paradigmas que colaborem para levar a arquitetura rumo à sustentabilidade. Para isso é preciso investir em conhecimento, principalmente do profissional da área, para que se adquira habilidades e confiança o suficiente para lidar com materiais e técnicas que não se tem costume; e ação, para que os assuntos vinculados à sustentabilidade deixem de ser artigos de leitura em revistas especializadas e passem a se tornar realidade crescente da transformação do espaço habitado.

Os resultados revelam que os inquiridos preferem soluções construtivas com: maior facilidade de acesso a materiais no mercado; menor custo dos materiais e mão-de-obra; maior conhecimento técnico; e ainda o fator estético, o que revela desconhecimento sobre a construção em terra por parte de profissionais e clientes, uma vez que esta é procurada por alguns arquitetos precisamente pela sua beleza, não tendo por isso interesse e prática com soluções construtivas como a construção em terra.

Indicam ainda: a falta de consciência coletiva; necessidade de engajamento dos profissionais da área da construção; e necessidade de medidas mais rígidas como legislação que obrigue a aplicação de soluções sustentáveis e ecológicas.

### 5.2 Avaliação da durabilidade da construção em terra

Os ensaios contemplados neste estudo tinham por objetivo avaliar o comportamento dos materiais mais utilizados na construção de terra nos dias de hoje. Por meio deles, foi possível medir o valor que um aditivo agrega ao solo. No caso do BTC a adição de cimento teve um melhor desempenho na durabilidade. No caso da taipa, todos ligantes adicionados tiveram bom desempenho. Na taipa sem adição as argamassas melhoram a durabilidade, sobretudo a argamassa de cal viva. As pinturas testadas, no geral, não tiveram muita influência na durabilidade, mas a que resultou melhor foi o verniz natural preparado com cera de abelha e resina de pinheiro.

Resumindo, ao comparar os resultados de resistência à compressão, com e sem exposição à água (pelo ensaio de erosão acelerada por jato de água), verifica-se que no BTC o cimento e a cal viva obtiveram aumento da resistência quando submetidos à água, enquanto a amostra com adição de cal hidratada apresentou diminuição da resistência com a exposição à água. Já na taipa, as amostras com adições de cal hidratada e de cal viva obtiveram aumento da resistência com a presença de água, enquanto o provete com adição de cimento apresentou uma resistência um pouco inferior após a exposição à água, de apenas 0,4 MPa, sendo ainda assim um excelente resultado.

### 5.3 Conclusão geral

Pelos resultados obtidos no inquérito observou-se que ainda predomina o desconhecimento sobre a construção em terra e outros materiais de construção tradicionais e sustentáveis.

Com o estudo laboratorial verificou-se que a construção em terra pode ser durável, seja recorrendo a uma pequena percentagem de material estabilizante, seja recorrendo a uma argamassa de recobrimento.

Conclui-se com este estudo que o solo é um material natural à altura de suprir as demandas de qualidade do espaço habitado, com suas propriedades higrotérmicas, criando um ambiente interno saudável, de temperatura estável e agradável à permanência num ambiente. Também de baixo custo, visto que pode ser utilizado o solo do próprio terreno da construção, evitando o deslocamento, e sendo pouco poluente. As melhorias que podem ser necessárias fazer com o solo são simples, utilizando materiais de baixo custo, como as que foram feitas durante a fase de laboratório neste presente trabalho, e o tornam seguro e de fácil emprego na construção em geral, adequando-se a uma variedade de climas, e atendendo as atuais demandas do mercado, além de apresentar alta qualidade estética.

### 5.4 Trabalhos futuros

Para aprofundamento deste presente trabalho e desenvolvimento de outros, ficam aqui algumas sugestões:

- Quanto ao ensaio de durabilidade face à erosão de águas e secagem, poderia ter mais ciclos, de forma a se conseguir obter mais dados de comportamento dos materiais e condições dos provetes;

- O ciclo de secagem poderiam ser mais longos, de forma a se obter resultados mais reais da condição do provete;
- Poderiam ser feitos ensaios de erosão natural, com provetes sendo expostos às intempéries do ambiente externo para comparar os resultados com o ensaio de erosão acelerada;
- Seria interessante produzir e estudar as propriedades de provetes híbridos, ou seja, com adições de cimento e cal ao mesmo tempo ao solo, a serem testados em diferentes proporções, de forma que se possa ajustar as melhores combinações dos aditivos de acordo com os resultados do seu desempenho mediante os ensaios.
- O verniz de cera de abelha com colofónia poderia ser testado com aplicação total de um provete, sem deixar superfície do provete que pudesse ser penetrado por água durante o ensaio de erosão acelerada de chuva, para ser avaliado melhor seu desempenho como impermeabilizante. Também pode ser testado em concentração mais diluída.
- Também seria importante avaliar a permeabilidade ao vapor de água para verificar se a impermeabilização por parte de alguns acabamentos pode comprometer o comportamento higrotérmico da construção em terra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NBR 13554, Pub. L. No. CB-02-Comitê Brasileiro de Construção Civil (1996).
- Abreu, C. G. de. (2013). *Caracterização de betão com terra através de provetes laminares*. ASTM D559 - 03, Pub. L. No. D559- 03 (2003).
- Bui, Q. B., Morel, J. C., Venkatarama Reddy, B. v., & Ghayad, W. (2008). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5), 912–919. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2008.07.001>
- Bunn, K. (2012). *Glossário da Medicina Oculta de Samael Aun Weor* (1º ed.). Edisaw. [https://books.google.com.br/books?id=lySNTh\\_0ZWYC&pg=PA318&dq=oleo+de+linha%C3%A7a&hl=pt-BR&sa=X&ei=h3EEVbujCcemgwTI2oP4Bw#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=lySNTh_0ZWYC&pg=PA318&dq=oleo+de+linha%C3%A7a&hl=pt-BR&sa=X&ei=h3EEVbujCcemgwTI2oP4Bw#v=onepage&q&f=false)
- Campos-Costa, A., Ramos, L. F., & Ramos Rocha, C. (2016). *CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM BLOCOS DE TERRA COMPACTADA: A SOLUÇÃO HILOTEC*.
- EN 12504-4, (2004). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/203a1a36-d5df-4f4c-9ab8-f6700e74e02c/en-12504-4-2004>
- CIMPOR. (2019). *Ficha técnica CEM II A-L 42,5R* (Patent No. 3653).
- Estudo de Mercado e Inovação sobre Materiais para a Construção Sustentável, (2012). [www.centrohabitat.net](http://www.centrohabitat.net)
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1979). *Construire en terre: Vol. 265p*. (CRAterre). Groupment Graphique GAMMA. <https://craterre.hypotheses.org/319>
- Eires, R. (2012). *Construção em terra: desempenho melhorado com incorporação de biopolímeros*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/21010>
- EN 1015-3, Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (1999).
- Fernandes, M. (2006). *Técnicas de Construção em Terra*.
- Fernandes, M. (2013). A Taipa no Mundo. *DigitAR - Revista Digital de Arqueologia, Arquitectura e Artes*, 1. [https://doi.org/10.14195/2182-844X\\_1\\_2](https://doi.org/10.14195/2182-844X_1_2)
- Ferreira, L. M. R. F. (2015). *Arquitetura de Terra - Das técnicas construtivas ao desenvolvimento de competências*.
- Gomes, C. F. (1988). *Argilas : o que sao e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Gomes, M. I., Santos, T., Pereira, C., & Faria, P. (2019). *CONSTRUÇÃO COM BASE EM TERRA: CONTRIBUTO PARA A ECOEFICIÊNCIA NA CONSTRUÇÃO*.
- Gonçalves, S. A. S. (2016). *Blocos de terra comprimida com incorporação de outros materiais*.
- Holland, O. (2022, March 15). Pritzker Prize 2022: Francis Kéré becomes first African to win “Nobel of architecture.” *CNN Style*. <https://edition.cnn.com/style/article/pritzker-prize-2022-francis-kere/index.html>
- Houben, Hugo., Guillaud, H., Dayre, Michel., Centre de recherche et d’application pour la construction en terre (Grenoble : Villefontaine, I., & Impr. Laballery). (2006). *Traité de construction en terre*. Éd. Parenthèses.
- IPQ, NP-143 (1969).
- Jalali, S., & Eires, R. (2008). *Inovações Científicas de Construção em Terra Crua*.
- Leis, T., Folache, P., Barahona, F., & Jürmann, K. (2016). *Tadelakt* (G. Kättmann, C. Pinto, S. Carvalho, R. Teodoro, P. Gallego, & F. Barahona, Eds.). [www.compalha.pt](http://www.compalha.pt)
- Lengen, J. van. (2004). *Manual do Arquiteto Descalço*. Livraria do Arquiteto.
- HB 195, (2002). [www.saiglobal.com/shop](http://www.saiglobal.com/shop)

- Mendes, N. M. dos S. (2012). *Avaliação do ensaio de pull-out na estimativa da resistência à compressão do betão em idades jovens*.
- Minke, G. (2006). *Building with Earth - Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser - Publishers for Architecture.
- LNEC E 196, Pub. L. No. 196-1966, Solos - Análise Granulométrica (1966). <https://toaz.info/doc-viewer>
- Mukerji, K., & CRATerre. (1988). Soil Block Presses. *GTZ*. <http://www.nzdl.org/cgi-bin/library.cgi?e=d-00000-00-off-0cdl-00-0-0-10-0-0-0direct-10-4-0-11-11-en-50-20-about-00-0-1-00-0-0-11-1-0utfZz-8-00&a=d&c=cdl&cl=CL2.19&d=HASH012436a8d44c68433bab74b5.1>
- Neves, C., & Faria, O. B. (2011). *Técnicas de Construção com Terra*. FEB-UNESP/PROTERRA. [www.redproterra.org](http://www.redproterra.org)
- NP EN 197-1, (2001). <https://pdfcoffee.com/np-en-197-12001-pdf-free.html>
- EN 772-1, (2002).
- Pacheco, F., Rute, T., Eires, M. G., & Jalali, S. (2009). *Construção em Terra*.
- Peixoto, M. V. S. (2017). *Avaliação da Integridade Mecânica em Paredes de Taipa de Pilão - Utilizando a Técnica do Ultrassom*.
- Petini, A., Rodrigues, B. Y. W. C., & Berlato, E. (2016, October). A Casa Bandeirista. Proposta de uma ambiência bandeirista para uma galeria de artes. *Arquitetismo, Vitruvius, Ano 10, n. 115.03*. <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitetismo/10.115/6231>
- PROCEQ. (2017). *Operating Instructions Pundit Lab / Pundit Lab + Ultrasonic Instrument*.
- Resipinus. (2017a, December 21). *Terebentina*. Associação de Destiladores e Exploradores de Resina. <http://www.resipinus.pt/resinagem/terebentina/>
- Resipinus. (2017b, December 22). *Colofónia*. Associação de Destiladores e Exploradores de Resina. <https://www.resipinus.pt/resinagem/colofonia/>
- Rezende, M. L. de S. (2016). *Desenvolvimento e avaliação de um simulador de chuvas para teste acelerado de degradação*. 53.
- Rocha, R., & Melo, P. H. (2017, August 14). *Uso da Taipa de Pilão na Austrália e as Diferenças para o Método Tradicional*. AustentArqui. <https://sustentarqui.com.br/taipa-de-pilao-na-australia/>
- Silva, L. C. F. (2018). *Produtos de alteração de rochas para construções em terra*.
- Silves, C. M. (2022). *Site Autárquico da Câmara Municipal de Silves*. Castelo de Silves. <https://www.cm-silves.pt/pt/menu/106/castelo-de-silves.aspx>
- SIREWALL. (n.d.). *Structural Insulated Rammed Earth – The art and science of modern rammed earth*. Founder: Meror Krayenhoff. Retrieved December 10, 2021, from <https://sirewall.com/#>
- SIREWALL. (2021). *Structural Insulated Rammed Earth – The art and science of modern rammed earth*. <https://sirewall.com/>
- Torgal, F. P., & Jalali, S. (2010). *A sustentabilidade dos materiais de construção*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28852>
- UNE 41410, (2008). [www.aenor.es](http://www.aenor.es)
- Veloso, L. de A. (2021). *SBRT - Dossiê Técnico: Corantes e Pigmentos*.
- Weimer, G. (2005). *Arquitetura Popular Brasileira*. In 2ª ed.: Vol. 333p. (2ª). Martins Fontes - WMF.



## ANEXO I – TABELAS E GRÁFICOS DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

### I. Anexos - Capítulo 4

#### a) Tabelas dos resultados do ensaio de limites.

Tabela 0.1 - Limites de liquidez de cada provete

NÚMERO DA CÁPSULA		A	B	C	D
A	PESO DA CÁPSULA + TOMA HÚMIDA (g)	17,76	15,43	18,61	17,55
B	PESO DA CÁPSULA + TOMA SECA (g)	16,21	14,22	16,82	16,04
C = A - B	ÁGUA NA TOMA (g)	1,55	1,21	1,79	1,51
D	PESO DA CÁPSULA (g)	7,56	7,56	7,51	8,47
E = B - D	TOMA SECA (g)	8,65	6,66	9,31	7,57
W = C/E x 100	TEOR DE HUMIDADE (%)	17,92	18,17	19,23	19,95
P	NÚMERO DE GOLPES	38	34	17	12

Tabela 0.2 - Limite de plasticidade

NÚMERO DA CÁPSULA		5	6	2	4
A	PESO DA CÁPSULA + TOMA HÚMIDA (g)	6,31	10,30	9,80	9,85
B	PESO DA CÁPSULA + TOMA SECA (g)	6,14	10,00	9,59	9,57
C = A - B	ÁGUA NA TOMA (g)	0,17	0,30	0,21	0,28
D	PESO DA CÁPSULA (g)	4,58	7,61	7,63	7,54
E = B - D	TOMA SECA (g)	1,56	2,39	1,96	2,03
W = C/E x 100	TEOR DE HUMIDADE, = WP (%)	10,90	12,55	10,71	13,79
W <sub>p</sub> = MÉDIA (%)		12			

#### b) Tabelas da granulometria dos finos do solo estudado com 5% de caulino

Tabela 0.3 – Granulometria peneirada dos finos em porcentagem

Granulometria dos finos	
Medidas das peneiras	Total que passa (%)
850 mic.	88.81
425 mic.	71.95
250 mic.	53.85
180 mic.	28.24
106 mic.	23.17
75 mic.	21.58
55 mic	20.92

Tabela 0.4 - Granulometria dos grossos em porcentagem

Granulometria dos grossos	
Medidas das peneiras	Quantidade retida (%)
¼ mm	1,2
4,75 mm	14,5
2,00 mm	84

c) Mapa das composições contendo todas as tipologias de BTC e provetes de taipa.

Tabela 0.5 - Quadro dos tipos de provetes que foram produzidos

U n i d e s	BTC e provete de Taipa	Tipos de provete	
		Tipologias	
		Aditivo	Barrados e acabamentos
1	<b>BTC 1</b>	Cimento	-
2	<b>BTC 2</b>	Cimento	-
3	<b>BTC 3</b>	Cal aérea hidratada	-
4	<b>BTC 4</b>	Cal aérea hidratada	-
5	<b>BTC 5</b>	Cal viva	s/ barrados + Verniz cera abelha e resina pinheiro
6	<b>BTC 6</b>	Cal viva	-
7	<b>BTC 7</b>	Cal viva	-
8	<b>BTC 8</b>	Cal viva	s/ barrados + Pintura ensaboamento
9	<b>BTC 9</b>	Cal viva	s/ barrados + Pintura cal + babosa + borax
10	<b>BTC 10</b>	Cal viva	-
11	<b>Taipa 1</b>	Cimento	-
12	<b>Taipa 2</b>	Cimento	-
13	<b>Taipa 3</b>	Cal aérea hidratada	-
14	<b>Taipa 4</b>	Cal aérea hidratada	-
15	<b>Taipa 5</b>	Cal viva	-
16	<b>Taipa 6</b>	Cal viva	-
17	<b>Taipa 7</b>	s/ adição	s/ barrados
18	<b>Taipa 8</b>	s/ adição	s/ barrados
19	<b>Taipa 9</b>	s/ adição	Arg. Cal viva (Lado A)
			Arg. Cal aérea hidratada (Lado B)
20	<b>Taipa 10</b>	s/ adição	Arg. Cal viva + tinta de cal pigmentada (Lado A)
			Arg. Cal viva + pintura óleo e soda cáustica (Lado B)
21	<b>Taipa 11</b>	s/ adição	Arg. Cal aérea h. + tinta de cal pigmentada (Lado A)
			Arg. Cal aérea h. + pintura óleo e soda cáustica (Lado B)
22	<b>Taipa 12</b>	s/ adição	Arg. Cal aérea h. + cera abelha e resina pinheiro (Lado A)
			s/ barrados + Pint. cera abelha e resina pinheiro (Lado B)
23	<b>Taipa 13</b>	cal viva	s/ barrados + Pintura ensaboamento
24	<b>Taipa 14</b>	cal viva	s/ barrados + Pintura cal + babosa + borax

d) Gráfico de relação entre ciclos de perda de massa de BTC

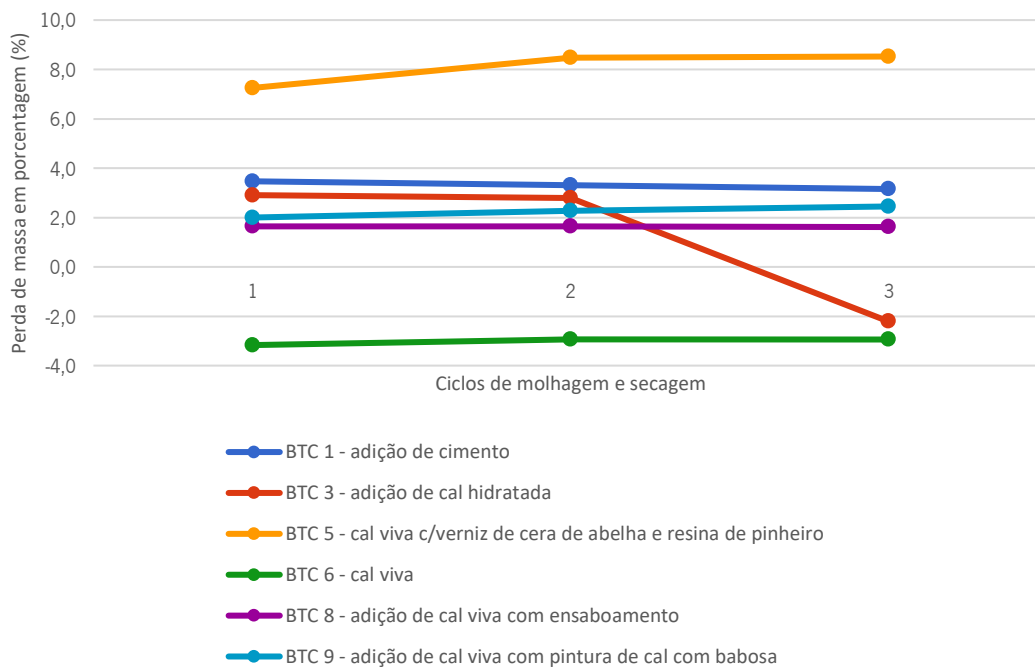


Figura 0.1 - Relação da perda de massa de cada BTC entre ciclos

e) Gráfico de relação entre ciclos de perda de massa em provetes de taipa

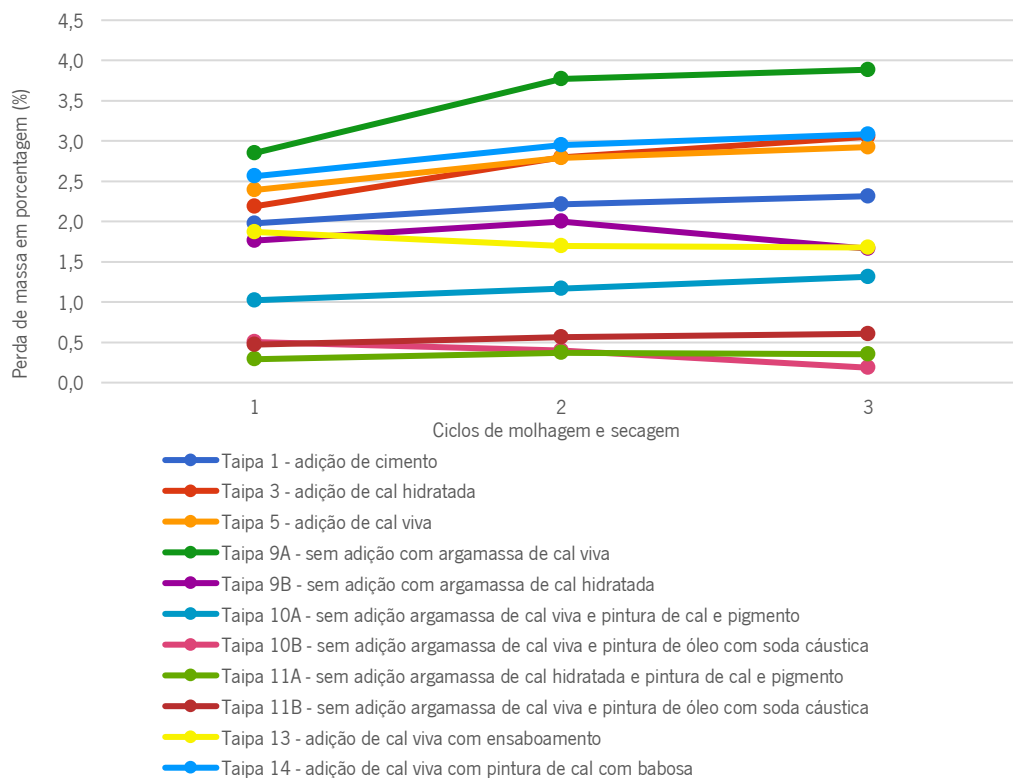


Figura 0.2 - Relação da perda de massa de provetes de taipa entre ciclos

f) Tabela com resultados de limite de resistência dos provetes

Tabela 0.6 - Limite de resistência dos provetes estudados

Limite de resistência					
U n i d a d e s	Tipos de provetes			Compressão com carga de 1,50kN/seg	
	Provetes	Adição e barrados			
		Adição	Barrados	F (KN/m <sup>2</sup> )	LR (Mpa)
	1	<b>BTC 1</b>	Cimento	-	211,30
2	<b>BTC 2</b>	Cimento	-	189,50	<b>8,6</b>
3	<b>BTC 3</b>	Cal aérea hidratada	-	75,30	<b>3,4</b>
4	<b>BTC 4</b>	Cal aérea hidratada	-	88,30	<b>4,0</b>
5	<b>BTC 5</b>	Cal viva	s/ barrados + Pint. cera abelha e resina pinheiro	62,50	<b>2,8</b>
6	<b>BTC 6</b>	Cal viva	-	92,00	<b>4,2</b>
7	<b>BTC 7</b>	Cal viva	-	63,80	<b>2,9</b>
8	<b>BTC 8</b>	Cal viva	Pintura ensaboamento	85,00	<b>3,9</b>
9	<b>BTC 9</b>	Cal viva	Pintura cal + babosa + borax	88,70	<b>4,0</b>
11	<b>Taipa 1</b>	Cimento	-	243,20	<b>10,8</b>
12	<b>Taipa 2</b>	Cimento	-	252,50	<b>11,2</b>
13	<b>Taipa 3</b>	Cal aérea hidratada	-	78,40	<b>3,5</b>
14	<b>Taipa 4</b>	Cal aérea hidratada	-	69,10	<b>3,1</b>
15	<b>Taipa 5</b>	Cal viva	-	74,90	<b>3,3</b>
16	<b>Taipa 6</b>	Cal viva	-	62,00	<b>2,8</b>
17	<b>Taipa 7</b>	s/ adição	s/ barrados	36,90	<b>1,6</b>
19	<b>Taipa 9</b>	s/ adição	Arg. Cal viva (Lado A)	18,30	<b>0,8</b>
20	<b>Taipa 10</b>	s/ adição	Arg. Cal viva + tinta de cal pigmentada	27,00	<b>1,2</b>
21	<b>Taipa 11</b>	s/ adição	Arg. Cal aérea h. + tinta de cal pigmentada	20,50	<b>0,9</b>
23	<b>Taipa 13</b>	cal viva	Pintura ensaboamento	61,80	<b>2,7</b>
24	<b>Taipa 14</b>	cal viva	Pintura cal + babosa + borax	69,40	<b>3,1</b>