



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**

**“Otimização de solos para a produção  
de blocos de terra compactada”**

**Joana Martins Chumbinho**

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Teresa Pinheiro-Alves

Co-orientação: Prof. António Borges Abel

**Mestrado em Engenharia Geológica**

Dissertação

Évora, 2017





**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

**“Otimização de solos para a produção  
de blocos de terra compactada”**

**Joana Martins Chumbinho**

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Teresa Pinheiro-Alves

Co-orientação: Prof. António Borges Abel

**Mestrado em Engenharia Geológica**

Dissertação

Évora, 2017



## Agradecimentos

---

Uma dissertação define-se como um trabalho individual, onde apesar disso, nem sempre como um trabalho solitário, existindo sempre alguém capaz de nos ajudar e até de nos segurar naqueles momentos menos fáceis. Desta maneira, quero exprimir o meu mais profundo agradecimento a todos aqueles que direta ou indiretamente, possibilitaram a realização e a conclusão desta dissertação.

Aos meus orientadores, pelo conhecimento partilhado e pelo tempo cedido ao longo desta dissertação. À Professora Teresa Pinheiro-Alves, pela disponibilidade demonstrada e pelo rigor que sempre exigiu ao longo do desenvolvimento do trabalho. Ao Professor António Borges Abel, que para além do conhecimento e da disponibilidade, sempre demonstrou ter colocado expectativas em mim. Obrigada pelo voto de confiança e pelo incentivo.

Às Oficinas do Convento, em particular ao Arq. Nuno Grenha, por ter disponibilizado a matéria prima e o equipamento necessário para a realização desta dissertação, pela experiência, pela disponibilidade e pela troca de ideias.

À Professora Paula Faria e à Sandra Velez, com quem tantas horas passei, um agradecimento especial, pelo seu tempo, disponibilidade, paciência, animo, conhecimento e pela grande ajuda. Obrigada pela vossa amizade.

Ao David, que sem ele teria sido tão mais difícil e possivelmente muita coisa não teria sido realizada. Pelo carinho, pelas palavras de apoio e ânimo, que chegaram sempre na altura certa, pela ajuda e pela motivação. Obrigada pela paciência, por aturares o meu mau feitio e por entenderes tantas outras coisas.

Aos meus amigos, que apesar das suas vidas ocupadas, sempre me acompanharam ao longo do curso e tentam arranjar um tempinho ou para me ajudar, ou para me ouvirem, ou simplesmente para nos rirmos ou falarmos sobre o tempo. Nomeadamente ao Brites, ao Pulga, ao Alexandre, à Barruchinha e à Ana Afonso.

E, como os últimos são sempre os primeiros, à minha família, que sempre me apoiou e se preocupa comigo, por vezes até demais. Não teria sido capaz de chegar aqui, se não fosse graças a ela.



## Resumo

---

Surgindo da necessidade de criar novos métodos construtivos mais sustentáveis, com a utilização de materiais ecológicos, é cada vez mais procurada a construção tradicional em terra. Este método é conhecido como uma das mais antigas técnicas de construção, generosamente utilizada ao longo da história, até ao decaimento da sua utilização, aquando do aparecimento de técnicas atualmente conhecidas como convencionais.

Esta dissertação pretende dar a conhecer outras soluções de construção em terra, onde são elaborados blocos de terra compactada, com a incorporação de diferentes adições, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas e físicas dos mesmos. Os blocos foram avaliados experimentalmente, permitindo verificar a evolução da resistência mecânica, e a sua capacidade de absorção de água, tornando-se possível compreender o comportamento e adequabilidade da alvenaria de blocos de terra compactada.

**Palavras-chave:** Blocos de terra compactada; Construção em terra; Caracterização geomecânica; Solos.





## Soil optimization for the production of compressed earth blocks

### Abstract

---

The need to create more sustainable constructive methods with the utilization of ecological materials, made the compressed earth blocks construction more pursued again. This method is known for being one of the eldest and commonly used techniques in construction, however evolution of the constructive technologies caused a decay on the traditional techniques, as the compressed earth blocks.

This dissertation intends to show new compositions of compressed earth blocks construction, where are elaborated compressed earth blocks, with the incorporation of different additions with the objective of improving the mechanical and physical properties of the compressed earth blocks. The blocks were evaluated experimentally, allowing to verify the evolution of the mechanical resistance and the capacity of water absorption of the blocks, to understand the behaviour and the masonry suitability of the compressed earth blocks.

**Keywords:** Compressed earth blocks; Earth construction; Geomechanical characterization; Soil.



# Índice Geral

## Capítulo 1 – Introdução

1.1 Motivação .....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia e estrutura do trabalho .....	4

## Capítulo 2 - A construção em terra

2.1 A construção em terra .....	9
2.1.1 Enquadramento Histórico – A construção em terra pelo Mundo .....	11
2.1.2 Enquadramento Histórico – A construção em terra em Portugal .....	14
2.2 Vantagens da construção em terra .....	16
2.3 Limitações da construção em terra.....	17
2.4 Patologias associadas à construção em terra .....	18
2.5 Técnicas construtivas em terra.....	21
2.5.1 Tabique .....	21
2.5.2 Taipa .....	23
2.5.3 Adobe.....	25
2.5.4 Blocos de Terra Compactada – BTC .....	27
2.5.4.1 Vantagens e desvantagens dos BTC.....	27
2.5.4.2 Fabricação de BTC's.....	28
2.5.4.3 Composição do solo .....	32
2.5.4.4 Estabilização do solo.....	33
2.5.4.5 Teor em água.....	35
2.5.4.6. Diferentes tipos de BTC.....	35
2.5.4.7 Regulamentação .....	38

## **Capítulo 3 - Materiais**

<b>3.1 Enquadramento Geológico do local de amostragem.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Ensaios expeditos .....</b>	<b>45</b>
3.2.1 Testes Táctil-visuais .....	45
3.3.2 Ensaio de sedimentação .....	48
3.2.3 Teste da queda da bola.....	49
3.2.4 Teste da resistência seca .....	49
3.2.5 Teste da fita.....	50
3.2.6 Teste do rolo .....	51
3.2.7 Teste de retração linear .....	52
3.2.8 Resultado dos ensaios expeditos.....	53
<b>3.3 Preparação do solo.....</b>	<b>53</b>
<b>3.4 Ensaios laboratoriais.....</b>	<b>56</b>
3.4.1 Teor de matéria orgânica .....	56
3.4.2 Teor em água do solo no estado natural .....	58
3.4.3 Análise Granulométrica .....	59
3.4.4 Limites de Consistência .....	62
3.4.5 Grau de atividade das argilas .....	67
3.4.6 Classificação de solos do ponto de vista geotécnico .....	68
3.4.7 Ensaio de Expansibilidade .....	69
3.4.8 Ensaio de Compactação (Proctor).....	71
3.4.9 Difração de Raios-X – Caracterização mineralógica.....	73
<b>3.5 Adições .....</b>	<b>75</b>

## **Capítulo 4 - Metodologia**

<b>4.1 Formulação das misturas.....</b>	<b>79</b>
<b>4.2 Preparação da mistura .....</b>	<b>80</b>

<b>4.3 Prensagem.....</b>	<b>83</b>
<b>4.4 Cura .....</b>	<b>86</b>
<b>4.5 Ensaio de caracterização dos BTC .....</b>	<b>88</b>
4.5.1 Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	88
4.5.2 Resistência à compressão.....	90
<b>Capítulo - Resultados e respetiva análise</b>	
<b>5.1 Ensaio de caracterização do BTC .....</b>	<b>92</b>
5.1.1 Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	92
5.1.2 Ensaio de resistência à compressão .....	109
<b>Capítulo 6 - Conclusões e considerações finais</b>	
6.1 Conclusões.....	119
6.2 Considerações finais.....	124
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>127</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>135</b>

## Índice de figuras

---

Figura 1 - Habitação unifamiliar construída em taipa. Beja.....	9
Figura 2 - Diagrama de classificação dos diferentes tipos de construção em terra. ....	10
Figura 3 - Cidade de Shibam, Yemen.....	12
Figura 4 - Cidade de Ghadamés, Líbia. ....	12
Figura 5 - Grande Muralha da China. ....	13
Figura 6 – Pueblo de Taos, Novo México. ....	13
Figura 7 - Castelo de Paderne, Albufeira. ....	14
Figura 8 - Fortificação do Castelo de Silves, Silves.....	14
Figura 9 - Distribuição geográfica das principais técnicas de construção em terra. ....	15
Figura 10 - Habitação antiga com parede exterior em pedra no piso inferior, seguida de parede em tabique no andar superior. ....	21
Figura 11 - Parede de tabique moderna, apresentando um tratamento mais cuidado. ....	22
Figura 12 - Taipal e pilões para produção de paredes de taipa.....	23
Figura 13 - Contraforte em casa de taipa no Algarve. Cacela Velha. ....	24
Figura 14 - Parede de taipa em habitação moderna.....	24
Figura 15 - Blocos de adobe sendo desmoldados.....	25
Figura 16 - Construção de paredes em adobe, sobre uma fundação em tijolo cerâmico. (Fonte: <a href="http://intermundos.org/residencias/prueba/">http://intermundos.org/residencias/prueba/</a> – 16/03/2017) .....	26
Figura 17 - Habitação rural com paredes em adobe. ....	26
Figura 18 – Representação do processo de preparação do solo e produção de BTC's. ....	29
Figura 19 - Primeira prensa manual CINVA-RAM. ....	30
Figura 20 - Exemplo de blocos sólidos .....	36
Figura 21 - Exemplo de blocos ocos. ....	36
Figura 22 - Exemplo de blocos perfurados.....	37
Figura 23 - Exemplo de blocos interligados.....	37
Figura 24 - Exemplo de blocos parasísmicos .....	38
Figura 25 - Local da amostragem (Google earth, 2013).....	43
Figura 26 - Excerto da carta geológica 35D - Montemor-o-Novo, à escala 1/ 50 0000.....	44
Figura 27 - Caracterização do tamanho das partículas. A olho-nu é possível separar-se o material de maior dimensão do restante. ....	45
Figura 28 - Caracterização da cor. Exemplo de 2 solos distintos.....	46

Figura 29 - Caracterização do brilho. Exemplo de 2 tipos de solos distintos.....	46
Figura 30 - Ensaio de lavagem .....	47
Figura 31 - Ensaio de sedimentação. À esquerda, o exemplo de um teste onde ainda existe uma quantidade considerável de argila em suspensão, seguido do exemplo de um teste de sedimentação finalizado. À direita as indicações sobre o cálculo de cada fração dos componentes do solo. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.19).....	48
Figura 32 - Teste da queda da bola: aspecto do espalhamento, em função do tipo de solo. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.18).....	49
Figura 33 - Teste da resistência seca. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.23) .....	49
Figura 34 - Teste da fita: formação do "cigarro" e da fita. Imagens superiores: tentativa da formação do "cigarro" e da fita com solo argiloso; Imagem inferior: Tentativa da formação do "cigarro" com solo arenoso. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.21).....	50
Figura 35 - Teste do rolo: o solo apresentado tem carácter argiloso. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.26).....	51
Figura 36 - Teste de retração linear. Exemplo de uma caixa de retração. (Fonte: a autora)52	
Figura 37 – Medição da retração total do solo. ....	52
Figura 38 - Amostragem de solo, utilizado na campanha experimental, no estado natural.54	
Figura 39 - Moinho de hélices utilizado para o destorroamento do solo. (Fonte: a autora) 55	
Figura 40 - Solo após ter sido destorroado. (Fonte: a autora) .....	55
Figura 41 - Visualização da separação de partículas do solo, após ter passado pelo peneiro apresentado. (Fonte: a autora) .....	55
Figura 42 - Curva granulométrica referente ao solo em estudo, com escala ABNT. ....	61
Figura 43 - Apresentação gráfica dos valores obtidos, após a realização do ensaio para determinação do limite de liquidez.....	63
Figura 44 - Concha de Casagrande. Aparelho utilizado para a determinação do limite de liquidez. (Fonte: a autora).....	64
Figura 45 - Resultado de 6 provetes realizados para determinação do limite de liquidez. (Fonte: a autora).....	64
Figura 46 - Realização do ensaio para determinação do limite de plasticidade.....	65
Figura 47 - Resultado de 6 provetes realizados para determinação do limite de plasticidade .....	65
Figura 48 - Carta de plasticidade. Intervalo recomendado, segundo UNE 41410 e HB 195. ....	66

Figura 49 - Apresentação gráfica das leituras obtidas, através da realização do ensaio de expansibilidade .....	70
Figura 50 - Aparelho para determinação da expansibilidade do solo.....	71
Figura 51 - Apresentação gráfica dos valores obtidos, através do ensaio de compactação.	72
Figura 52 - Resultado de 5 provetes realizados para determinação do teor em água ótimo. (Fonte: a autora).....	73
Figura 53 - Proвете realizado com determinado teor em água. (Fonte: a autora) .....	73
Figura 54 - Adição de água com auxílio de um aspersor. (Fonte: a autora).....	82
Figura 55 - Forma expedita de se verificar o ponto "ótimo" de adesão do solo. (Fonte: a autora).....	82
Figura 56 – Prensa utilizada para a produção dos BTC's.....	83
Figura 57 – Pressão sobre os cantos do molde. (Fonte: a autora) .....	84
Figura 58 - Nivelamento do material no molde da prensa. (Fonte: a autora).....	84
Figura 59 - Bloco acabado de ser prensado. (Fonte: a autora) .....	84
Figura 60 - Blocos distribuídos sobre palete de madeira. (Fonte: a autora).....	85
Figura 61 - Transporte dos blocos. ....	87
Figura 62 - Disposição dos blocos durante o processo de cura. (Fonte: a autora) .....	87
Figura 63 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes sem adições.	93
Figura 64 - Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes sem adições. ....	93
Figura 65 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de cal aérea. ....	95
Figura 66 -Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes com adição de cal aérea. ....	95
Figura 67 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de cimento. ....	97
Figura 68 - Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes com adição de cimento. ....	97
Figura 69 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de cinzas volantes.....	99
Figura 70 - Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes com adição de cinzas volantes.....	99



Figura 71 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de pó de mármore.....	101
Figura 72 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de pó de mármore.....	101
Figura 73 - Média dos valores percentuais de absorção de água, obtidos pelos provetes, por cada tipo de adição. ....	104
Figura 74 - Curva de Capilaridade .....	106
Figura 75 - Valores médios do coeficiente de absorção.....	107
Figura 76 - Valores médios da absorção de água .....	108
Figura 77 - Valores médios das resistências à compressão. ....	111
Figura 78 - Ordem decrescente de resistências à compressão para cada uma das composições. ....	116
Figura 79 - Curva Granulométrica resultante do ensaio de análise granulométrica por via húmida .....	137
Figura 80 - Ficha resultante do ensaio de sedimentação, através do Sedigraph.....	138
Figura 81 - Apresentação gráfica dos resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade do solo .....	140
Figura 82 - Apresentação gráfica dos resultados obtidos através do ensaio de compactação .....	141
Figura 83 - Difractograma obtido através da difracção de Raios-X.....	142
Figura 84 - Ficha resultante do ensaio de caracterização mineralógica do solo.....	143
Figura 85 - Gráfico comparativo das resistências médias dos provetes sem adições, ao longo do tempo de cura.....	152
Figura 86 - Gráfico comparativo das resistências médias dos provetes, com diferentes teores de cal aérea incorporada, ao longo do tempo de cura.....	153
Figura 87 - Gráfico comparativo, das resistências médias dos provetes com diferentes teores de cimento incorporado, ao longo do tempo de cura.....	154
Figura 88 -Gráfico comparativo, das resistências médias dos provetes com diferentes teores de cinzas volantes, ao longo do tempo de cura.....	155
Figura 89 - Gráfico comparativo, das resistências médias dos provetes com diferentes teores de pó de mármore incorporado, ao longo do tempo de cura. ....	156

## Índice de tabelas

---

Tabela 1 – Resumo do diagrama anterior, dividido pelas 3 grandes famílias e tipo de construção (Adp. Houben & Guillaud, 1989).....	11
Tabela 2 - Vantagens da construção em terra, divididas segundo diferentes níveis. ....	16
Tabela 3 – Composição granulométrica ideal, segundo diferentes literaturas e normas.....	33
Tabela 4 - Métodos de estabilização mecânica por compactação .....	34
Tabela 5 - Principais normas e regulamentos referentes a BTC's.....	39
Tabela 6 - Classificação do solo, por inspeção tátil-visual. Adaptado de Proterra .....	47
Tabela 7 - Avaliação do teste da resistência seca. Adaptado de Proterra.....	50
Tabela 8 – Avaliação do teste da fita. Adaptado de Proterra .....	51
Tabela 9 - Resultado dos ensaios expeditos .....	53
Tabela 10 – Resultados do ensaio de determinação de matéria orgânica.....	57
Tabela 11 - Resultado do ensaio de determinação do teor em água do solo no estado natural .....	59
Tabela 12 - Valores percentuais da dimensão das partículas do solo, segundo a escala ABNT. ....	61
Tabela 13 - Valores obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez, realizado ao solo. ....	64
Tabela 14 - Valores obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade, realizado ao solo. ....	65
Tabela 15 – Intervalo de valores referente ao IP e respetiva classificação de solo.....	66
Tabela 16 – Classificação do tipo de solo, segundo diversos autores. ....	67
Tabela 17 - Grau de atividade de argilas e respetiva classificação .....	68
Tabela 18 - Conjunto de minerais existentes no solo em estudo.....	74
Tabela 19 - Proporção dos elementos sólidos, integrantes da mistura, a utilizar para a produção de BTC's, .....	79
Tabela 20 – Teor ótimo de água a utilizar, segundo o ensaio de compactação Proctor .....	81
Tabela 21 - Cronograma referente à produção diária de BTC's.....	85
Tabela 22 -Valores médios referentes à absorção de água, ao coeficiente de absorção, após a finalização do ensaio (48horas) e quanto à capilaridade dos provetes. ....	103
Tabela 24 - Massa Volúmica dos provetes (g/cm <sup>3</sup> ).....	110

Tabela 25 - Resultados obtidos do ensaio de determinação do teor de matéria orgânica no solo .....	136
Tabela 26 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do teor em água do solo no estado natural.....	137
Tabela 27 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida .....	137
Tabela 28 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez	139
Tabela 29 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade .....	139
Tabela 30 - Resultado obtidos através do ensaio de expansibilidade do solo.....	140
Tabela 31 - Resultados obtidos através do ensaio de compactação – Proctor.....	141
Tabela 32 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes sem aditivos.....	144
Tabela 33 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de cal aérea.....	145
Tabela 34 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de cimento.....	146
Tabela 35 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de cinzas volantes .....	147
Tabela 36 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de pó de mármore.....	148
Tabela 37 - Dimensões e pesos dos provetes, sem adições, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão. ....	149
Tabela 38 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de cal aérea, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão. ....	149
Tabela 39 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de cimento, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão. ....	150
Tabela 40 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de cinzas volantes, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão. ....	150
Tabela 41 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de pó de mármore, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão. ....	151
Tabela 42 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes sem adição. ....	152

Tabela 43 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de cal aérea. ....	153
Tabela 44 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de cimento. ....	154
Tabela 45 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de cinzas volantes. ....	155
Tabela 46 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de pó de mármore. ....	156

## Acrónimos

---

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a.C. - antes de Cristo

BTC - blocos de terra comprimida

C.b – Coeficiente de absorção

CEB - compressed earth blocks

CINVA - International American Housing Centre

CINVA-Ram - Compressed Earth Block Machine

CRATerre - International Centre on Earthen Architecture (Centre de Recherche d'Architecture de Terre)

C.V.- Cinzas Volantes

d.C. - depois de Cristo

I.P – Índice de Plasticidade

L.L – Limite de Liquidez

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

L.P – Limite de Plasticidade

NBR – Norma Brasileira

NP – Norma Portuguesa

NTC – Norma Técnica Colombiana

P.M. – Pó de mármore

Proterra - Rede Ibero-Americana de Arquitetura e Construção com Terra

UNE – Una Norma Española (Norma Espanhola)

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)



---

# **CAPÍTULO 1**

## **Introdução**

---





## 1.1 Motivação

A pouca divulgação e conhecimento relacionados com a arquitetura em terra na atualidade, despertou um grande interesse para a investigação e procura do conhecimento relativamente a esta forma milenar de construção.

Apesar do esquecimento sentido referente à construção em terra, fruto do aparecimento de novas técnicas de construção, atualmente designadas como técnicas de construção convencionais, aos poucos a arquitetura em terra tem vindo a assumir-se novamente, focando-se na tentativa e expectativa do desenvolvimento da investigação sobre o tema e as suas possibilidades futuras, quer a nível de novas construções quer no que respeita à reabilitação de construções já existentes e construídas com este material.

Para além disso, tem-se notado uma crescente preocupação por reinventar e renovar técnicas antigas de construção em terra, bem como formas de melhoramento do solo, como material de construção. Vários estudos já desenvolvidos, de entre os quais os referidos na bibliografia desta dissertação, analisaram a estabilização<sup>1</sup> de solo com ligantes, como a cal ou o cimento, ou a introdução de fibras na mistura, a fim de minorar problemas de retração durante o tempo de cura.

## 1.2 Objetivos

A presente dissertação pretende descrever todo o estudo desenvolvido sobre o tema em análise, a otimização de solos para a produção de blocos de terra compactada (BTC), seguindo uma linha de desenvolvimento ao longo de todo o estudo.

A procura de informação relacionada com as propriedades e caracterização mecânica do comportamento de estruturas em terra, leva ao surgimento de estudos com o intuito de minimizar a lacuna existente, no que toca ao conhecimento na área da construção recorrendo a materiais naturais.

No desenvolvimento desta dissertação, procurou entender-se o conceito de arquitetura em terra, mas sobretudo aprofundar o conhecimento na técnica de construção de blocos de terra

---

<sup>1</sup> Estabilização de um solo – torná-lo mais estável, sem que sofra variações significativas nos seus parâmetros, face às condições de exposição a que fica sujeito.

compactada, através da análise de textos, estudos e experiências laboratoriais, a fim de permitir a compreensão e valorização da técnica, quanto às suas propriedades e vantagens, tendo sempre em conta as suas limitações, permitindo o aprofundamento sobre a temática e levando assim à aquisição de competências orientadas para a execução da mesma.

Seguindo o objetivo principal desta dissertação, que corresponde ao estudo da formulação de BTC com a incorporação de diferentes adições em um solo, tais como o cimento, a cal aérea hidratada, cinzas volantes e pó de mármore, que após determinado tempo de cura, os blocos produzidos foram submetidos a uma campanha experimental de ensaios, com o objetivo de avaliar a sua capacidade de absorção água por capilaridade, bem como o valor da sua resistência mecânica, onde os resultados finais foram posteriormente analisados e discutidos, explicitando quais são as formulações de blocos de BTC que apresentam as melhores características, quando sujeitos aos ensaios de caracterização, quando produzidos com um solo com características idênticas ao utilizado neste estudo.

### **1.3 Metodologia e estrutura do trabalho**

Aborda-se inicialmente nesta dissertação, algumas das diferentes técnicas de construção em terra e a sua aplicação ao longo da história. Procurou-se entender as vantagens e limitações deste método construtivo e aprofundou-se o tema para a técnica de construção com blocos de terra compactada, adiante designados por BTC.

O estudo desenvolvido foi iniciado com uma pesquisa bibliográfica relacionada com toda a envolvente da arquitetura em terra, com um maior interesse no tema do BTC, e conseqüente compilação dos primeiros capítulos, após a seleção do material necessário a utilizar no estudo.

Relativamente à parte mais objetiva da dissertação, a pesquisa baseou-se fundamentalmente em bibliografia específica do tema, como em trabalhos académicos e investigações realizadas por outros alunos e investigadores, a fim de se obter o material necessário para desenvolver a parte prática deste trabalho.

Foram formuladas as composições a realizar, para a finalidade em causa – ensaios laboratoriais -, qual o número de provetes necessários e de seguida procedeu-se à produção dos BTC

propriamente dita. Após determinado tempo de cura, estes foram submetidos a uma campanha de ensaios onde os dados resultantes foram analisados e discutidos, permitindo a posterior redação das conclusões.

Desta forma o presente documento é constituído por 6 capítulos.

No capítulo 1 é redigida a motivação, são descritos os objetivos e é exposta a metodologia e estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é feita uma apresentação sobre o tema, onde exemplos de vários locais pelo mundo são referidos, bem como os métodos mais conhecidos de construção em terra, finalizando o capítulo com uma introdução sobre os blocos de terra compactada.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada, para classificação do solo, onde os ensaios expeditos foram realizados segundo o descrito pelos grupos CRATerre e Proterra e os ensaios laboratoriais foram realizados segundo normas portuguesas e especificações do LNEC. É ainda realizada uma descrição dos diferentes materiais a adicionar ao solo e formuladas as misturas.

No capítulo 4 encontra-se descrito todos os procedimentos realizados na produção dos BTC's, desde a mistura dos materiais até ao tipo de cura que os mesmos sofreriam, sendo ainda descrito os ensaios de caracterização dos blocos, foram tidas em conta a NP 722-1-2002 para determinação da resistência à compressão e a norma Colombiana NTC 5324, bem como a norma Brasileira 8491-1984, para a realização do ensaio de absorção de água.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados referente aos ensaios de caraterização realizados aos blocos, bem como a sua análise.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões do presente estudo e referido as considerações finas, bem como sugeridas futuras investigações, no âmbito do tema.



---

# **Capítulo 2**

**A construção em terra**

---



## 2.1 A construção em terra

Não existe um consenso, por parte de vários autores, quando é referida a data em que o ser humano começou a utilizar a terra para a construção de habitações.

Sendo a terra um material oferecido pela Natureza, é defendido que o início da construção à base de terra, data dos primórdios da sedentarização do ser humano, remontando aos anos entre 12.000 a 7.000 a.C, no período Neolítico, sendo este período caracterizado pelo aparecimento das primeiras sociedades agrícolas, que conseqüentemente originaram a sedentariização da espécie, até então nómada (Lopes, 2012: 5). Este tipo de arquitetura, surgiu assim, de forma espontânea, resultado do instinto natural de sobrevivência do homem, com o intuito de se proteger (Jalali & Eires, 2008).

Estima-se que, nos nossos dias, aproximadamente 3 biliões de pessoas, vivam em edifícios construídos em terra segundo diferentes técnicas (Figura 1), indo desde modestas casas a palácios, igrejas ou castelos. Apesar de nos países desenvolvidos, a terra ser vista como um material ligado à pobreza e este tipo de construção ter caído em desuso no decorrer do século passado, resultado do aparecimento das construções em tijolo cozido e betão armado, a arquitetura em terra continua a ser uma forma de construção popular e por vezes a única viável, principalmente em países em desenvolvimento (Jalali & Eires, 2008; Silva, et al., 2014).

Atualmente, a construção em terra é cada vez mais reconhecida e aceite por parte das comunidades, que se regem segundo uma construção sustentável, sendo esta um tipo de construção cada vez mais procurada (Silva et al., 2014:2).



Figura 1 - Habitação unifamiliar construída em taipa. Beja.  
(Fonte: [http://www.betaotaipa.pt/obras\\_detail.php?obra=habitacao\\_em\\_beja](http://www.betaotaipa.pt/obras_detail.php?obra=habitacao_em_beja) - 29/05/2016)

Desde 1979, que em França existe um organismo, o Grupo CRATerre (Centre de Recherche d'Architecture de Terre)<sup>2</sup>, que tem como campo de ação a investigação na área da construção em terra e o desenvolvimento sustentável (Lopes, 2012: 9), sendo o mesmo reconhecido como uma referência incontornável a nível internacional, impulsionando o avanço no campo da investigação e desenvolvimento de novas tecnologias, com o intuito de melhorar a durabilidade e qualidade das construções em terra (Jalali & Eires, 2008).

Este grupo elaborou um diagrama, cujo elemento em comum é o uso de solo como matéria-prima, onde se procurou sistematizar as inúmeras técnicas de construção em terra, das quais CRATerre enumerou 18 sistemas, antigos e modernos, divididos por 3 grandes famílias, sendo o diagrama uma síntese das possíveis soluções a utilizar (Figura 2).

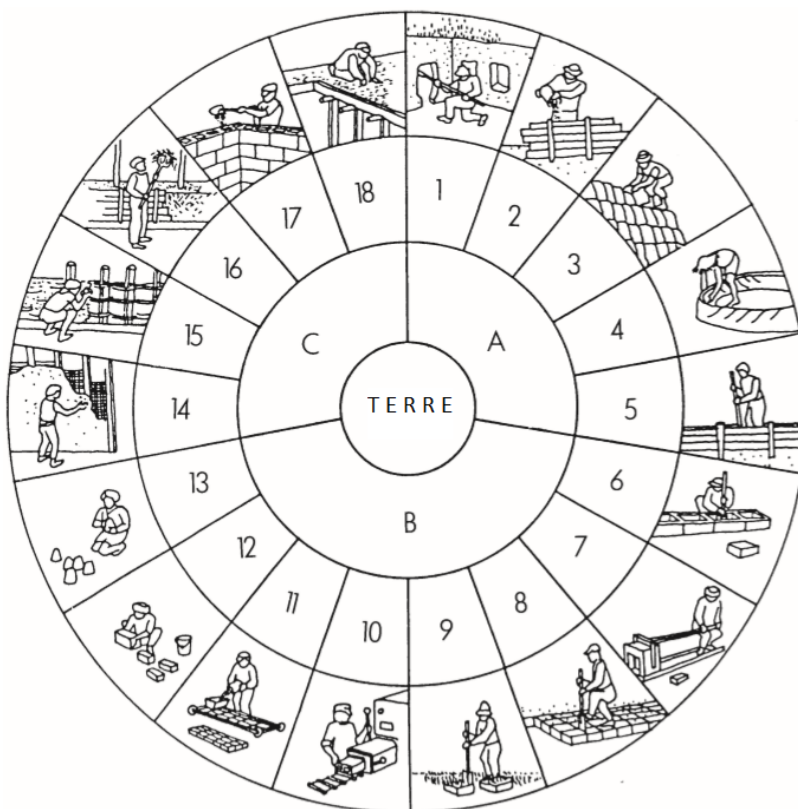


Figura 2 - Diagrama de classificação dos diferentes tipos de construção em terra.  
(Adp: Houben & Guillaud, 1989. p.15)

<sup>2</sup> O grupo CRATerre está ligado à ENSAG (École National Supérieur d'Architecture de Grenoble).



Tabela 1 – Resumo do diagrama anterior, dividido pelas 3 grandes famílias e tipo de construção (Adp. Houben & Guillaud, 1989).

<b>A</b> <b>Estrutura monolítica</b> <b>portante</b>	<b>B</b> <b>Estrutura em alvenaria</b> <b>portante</b>	<b>C</b> <b>Estrutura de suporte</b> <b>com enchimento ou re-</b> <b>vestimento de terra</b>
	6. Blocos apilados	
1. Terra escavada	7. Blocos prensados	14. Terra de recobrimento
2. Terra plástica	8. Blocos cortados	15. Terra sobre engradado
3. Terra empilhada	9. Torrões de terra	16. Terra palha
4. Terra moldada	10. Terra extrudida	17. Terra de enchimento
5. Taipa	11. Adobe mecânico	18. Terra de cobertura
	12. Adobe manual	
	13. Adobe moldado	

### 2.1.1 Enquadramento Histórico – A construção em terra pelo Mundo

A arquitetura tradicional, resultado do acumular de saberes milenares utiliza o solo, aplicando-o de modo a tirar partido das suas características e potencialidades, segundo diferentes técnicas, que surgiram em praticamente quase todas as civilizações passadas, propagando-se pelo mundo através das invasões e colonizações, comuns na história da Humanidade.

Estas técnicas, foram posteriormente combinadas e adaptadas entre si, sob a forma mais adequada de construção na época, permitindo o aperfeiçoamento das construções, com o intuito de as tornar mais elaboradas e eficazes, adaptadas segundo a região de aplicação, às condições naturais, geográficas, climatéricas e, naturalmente, culturais e económicas daquelas decorrentes, assumindo uma identidade geográfica própria, traduzida na estética das edificações, relacionando-se com o meio ambiente de forma harmoniosa (Nunes, 2013: 3-4), e com as características do próprio solo como material de construção (Oliveira, 2014:8-10).

Atualmente ainda é possível observar-se, pelo mundo, exemplos de construções em terra, datados de alguns milhares de anos, que resistiram às adversidades que lhes foram impostas

com o passar dos séculos, mantendo-se em bom estado de preservação e conservação, (Lopes, 2012:5) sendo alguns destes casos classificados atualmente como Património Mundial pela Unesco (Oliveira, 2014:8-10).

- **Cidade de Shibam, Yemen (Ásia)** - Arquitetura realizada em adobe, onde as casas originárias datam ao século XVI, formando a maioria da cidade. Atualmente habitada, a cidade possui torres com 5 a 11 andares, tendo os edifícios mais altos do mundo construídos em terra, alguns com mais de 30 metros de altura (Figura 3).

Classificada Património Mundial segundo a Unesco, em 1982.



Figura 3 - Cidade de Shibam, Yemen.

(Fonte: <http://socks-studio.com/2012/08/12/the-walled-city-of-shibam-a-manhattan-of-the-desert/> – 14/04/2016)

- **Ghadamés, Líbia (África)** – Arquitetura realizada em adobe coberto com argila, com mais de 6.000 anos. Atualmente a cidade ainda é habitada, mesmo após a construção de novas habitações com instalações de água corrente e esgotos, fora da zona histórica (Figura 4).

Classificada Património Mundial segundo a Unesco, em 1986.

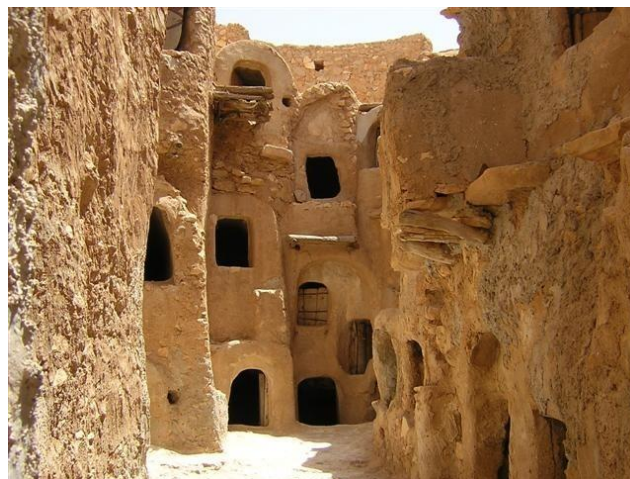


Figura 4 - Cidade de Ghadamés, Líbia.

(Fonte: <http://www.travelgrove.com/community/galleries/libia-Ghadames-akka-2986.html#pic152009> – 14/04/2016)

- **Grande Muralha da China, China** (Ásia) – Início da construção há aproximadamente 3.000 anos atrás, durante a Dinastia Ming, onde os muros apresentam uma altura média de 7,5m e uma extensão de 21 196 km. As características construtivas da Muralha da China, variam de acordo com a região e o material disponível, apresentando troços bastante extensos construídos em taipa apilada, só mais tarde revestidos com alvenaria de pedra (Figura 5).

Classificada Património Mundial segundo a Unesco, em 1987.



Figura 5 - Grande Muralha da China.

(Fonte: <https://arcaterrablog.wordpress.com/arquitetura-de-terra/> - 14/04/2016)

- **Pueblo de Taos, Novo México** (E.U.A) - Arquitetura realizada em adobe, reforçado com fibras vegetais e coberto com argila, erguido entre 1.000 e 1.500 d.C. Atualmente o povoado ainda é habitado, pelos descendentes dos antigos povos nativos americanos responsáveis pela construção da cidade, possuindo edifícios com 2 ou mais pisos (Figura 6).

Classificado Património Mundial segundo a Unesco, em 1992.

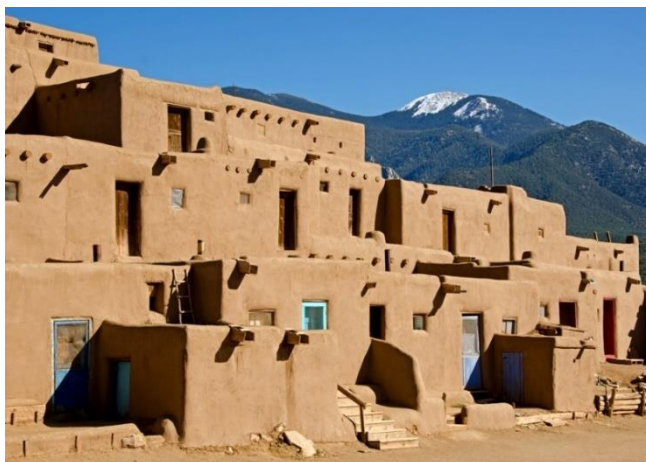


Figura 6 – Pueblo de Taos, Novo México.

(Fonte: <https://everywhereonce.com/2012/01/04/a-toast-to-taos/> - 14/04/2016)

## 2.1.2 Enquadramento Histórico – A construção em terra em Portugal

Datada de há várias centenas de anos, especula-se que a técnica de construção em terra, tenha chegado à Península Ibérica durante a conquista islâmica, por volta do Século VIII, sendo esta técnica desenvolvida em conformidade com o método construtivo utilizado no mundo árabe (Pereira, 2013: 7-9), onde os muçulmanos foram os maiores impulsionadores deste tipo de construção em Portugal (Torgal et al.; 2009: 10-12), utilizando na época a taipa militar, onde cal era adicionada à argila, para a construção de castelos e muralhas, em território português, que resistiram até aos nossos dias (Pereira, 2013: 7-9).

- **Castelo de Paderne, Albufeira** –

Arquitetura em taipa, erguido entre os séculos XI-XII, durante a última fase da ocupação muçulmana, ocupando uma área de 1.000 m<sup>2</sup> que se destacava na paisagem como um aviso de chegada ao Algarve, sendo um dos mais relevantes exemplares da arquitetura militar muçulmana na Península Ibérica (Figura 7).

Classificado como Imóvel de interesse público, em 1971.



Figura 7 - Castelo de Paderne, Albufeira.

(Fonte: <https://lusophia.wordpress.com/2010/11/04/> - 14/04/2016)

- **Fortificação Castelo de Silves, Silves** –

Arquitetura em taipa, revestida com pedra grés, material abundante na região, foi construída pelos muçulmanos, após estes se apoderarem do alto da colina de Silves. A fortificação (Figura 8) é composta por uma muralha, envolvendo o castelo e 4 torres de reforço, ocupando uma área de 12 000 m<sup>2</sup>. Classificada como monumento nacional, em 1910.



Figura 8 - Fortificação do Castelo de Silves, Silves.

(Fonte: <https://catbirdineurope.wordpress.com/category/europe/portugal/the-algarve/silves/> - 14/04/2016)

É a partir do século VIII, que ocorre a generalização da construção em terra pelo mundo, segundo diferentes técnicas construtivas, como as paredes de taipa, adobe e tabique.

Em Portugal, onde até então a construção dominante era em pedra, ocorre a generalização da construção em terra onde a predominância da taipa, é constatada, tanto a nível do legado arquitetónico, como pela sua influência nas construções contemporâneas (Ponte, 2012: 15). Apesar deste tipo de construção ter atingido o auge da sua utilização ao longo dos anos, a partir do início do século XX, verificou-se um acentuado declínio (Torgal et al., 2009: 15), sendo a técnica substituída pela construção em alvenaria de tijolo e betão, que travaram o desenvolvimento das técnicas de construção em terra, da sua produção e da difusão do conhecimento existente, bem como da reabilitação e reforço de estruturas já existentes (Nunes, 2013: 11), podendo observar-se pelo nosso país, vários exemplos resultantes das diferentes técnicas de construção.

Contudo a distribuição geográfica das técnicas de construção em terra em Portugal (Figura 9), não é algo aleatório. Fatores relacionados com o clima de cada região, bem como a disponibilidade da matéria-prima, foram os principais responsáveis pela distribuição geográfica das técnicas tradicionais de construção em terra, em Portugal, para além da conjugação de outros fatores, como os geográficos, económicos, sociais, históricos e culturais (Meneses, 2010: 10-11).

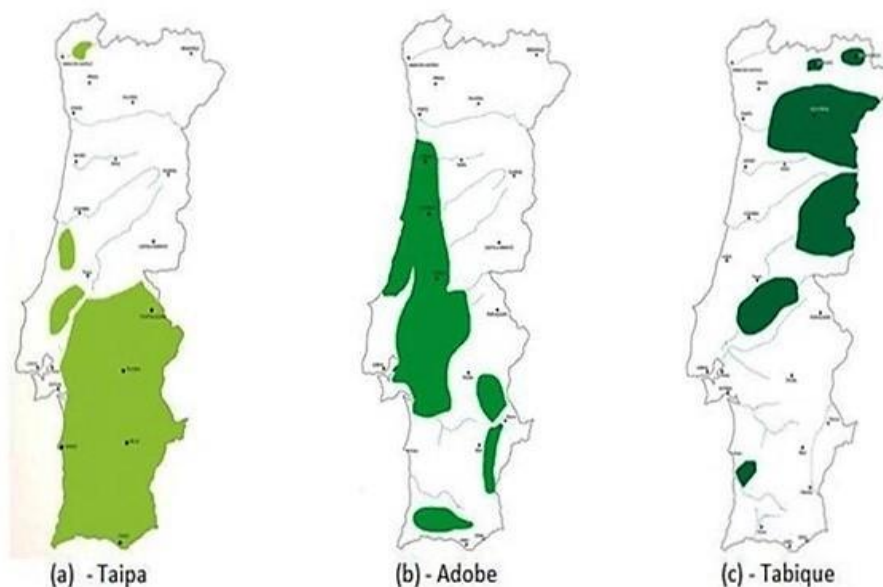


Figura 9 - Distribuição geográfica das principais técnicas de construção em terra.  
(Fonte: <http://tabiquenaamtqt.blogs.sapo.pt> – 17/04/2016)

Facilmente se constata a distribuição das diferentes técnicas tradicionais de construção em terra pelo território Português (Figura 9).

Estendendo-se entre todo o Algarve, até à zona a sul do Tejo, a taipa encontra-se em abundância na zona referida, existindo pequenas áreas nos distritos do Minho, Leiria e Santarém. Segundo Pinho (2011), existem registos de edifícios com esta tipologia, na zona do Baixo Douro, Aveiro-Bairrada-Mira, Estremadura e Castelo Branco.

Quanto ao edificado em adobe, este localiza-se fundamentalmente na região de Aveiro, Coimbra, Leiria, Santarém, Portalegre, Évora e uma zona abrangendo parte do Algarve e Baixo Alentejo.

Pinho (2011) refere que as paredes em adobe eram construídas segundo as regras descritas para as paredes de tijolo, com a ressalva de serem empregues em “construções pobres”.

Por fim, as construções em tabique, têm maior incidência na zona do Alto Douro e Trás-os-Montes, apesar de determinados autores constatarem que por todo o país, existem paredes de tabique, em construções até aos anos 50 (Lopes, 2012: 8).

## 2.2 Vantagens da construção em terra

Tratando-se de uma solução, atualmente considerada por muitos autores como ecologicamente interessante, a construção em terra, para além de permitir a realização de uma construção de maior sustentabilidade, preservando os recursos naturais, apresenta um conjunto de diversas vantagens, como se pode observar no resumo da Tabela 2 (Lopes, 2014: 10-11).

Tabela 2 - Vantagens da construção em terra, divididas segundo diferentes níveis.

<b>Ecológico</b>	Matéria-prima não tóxica, que existe em grande quantidade e a sua exploração não acarreta problemas de poluição; A produção de resíduos durante a fase de produção é reduzida; Como a terra é utilizada em cru, não provoca poluição decorrente do seu tratamento; Após o tempo de vida útil de um edificado, é possível reciclar o material, reutilizando-o diversas vezes, diminuindo a hipótese de formação de resíduos de construção e demolição (RCD's);
------------------	--

Tabela 2 - Vantagens da construção em terra, divididas segundo diferentes níveis (Continuação).

<b>Energético</b>	Não necessita de se submeter a transformações industriais e durante a produção exige pouco ou nenhum consumo de energia, permitindo uma maior economia em termos de gastos energéticos;
<b>Economico</b>	A utilização da terra como material de construção permite reduzir consideravelmente os custos da construção, uma vez que se trata de um recurso disponível no próprio local da obra, ou em outro local mais qualificado, com custos reduzidos de exploração, transporte, produção e aplicação;
<b>Segurança</b>	Ótimo comportamento face à ação do fogo, apresentando capacidades suficientes, para as alvenarias de terra serem utilizadas como paredes corta-fogo, uma vez que o solo não se trata de um material combustível;
<b>Cultural</b>	Adequação da técnica em conformidade com as possibilidades de cada cultura e região, permitindo que uma identidade geográfica própria seja assumida.
<b>Social</b>	Este tipo de construção permite reduzir os custos de uma habitação social e ainda o desenvolvimento da autonomia do povo; Por se tratar de uma técnica relativamente fácil, não necessita de grande qualificação, por parte dos operadores, onde a tecnologia utilizada é de fácil aprendizagem, exigindo poucas capacidades técnicas, permitindo que qualquer pessoa possa trabalhar na área;
<b>Político</b>	A dependência dos países em desenvolvimento, em relação à técnica e ao solo como material de construção, trata-se de uma mais valia para o desenvolvimento deste tipo de arquitetura, uma vez que o solo se trata de um material presente por todo o mundo, não existindo um entrave como no caso de outras técnicas e materiais importados;

### 2.3 Limitações da construção em terra

Apesar das vantagens enumeradas anteriormente, a construção em terra apresenta algumas limitações, entre elas:

- Necessidade de escolher criteriosamente o local de implantação da obra, sendo imprescindível, para a duração e qualidade da mesma, a execução de fundações apropriadas, de preferência elevando-as até a uma altura segura que impeça a ascensão de água por capilaridade;
- Fraco comportamento, deste tipo de construção, quando em contacto com a água;
- Fraca resistência mecânica, comparativamente com os materiais convencionais, como o tijolo cozido e o betão;
- Comportamento frágil, na presença de movimentos sísmicos, devido à fraca capacidade de resistência à tração deste tipo de construção, uma vez que não se encontram devidamente reforçadas para resistir à ação sísmica, sofrendo anomalias a nível estrutural e não estrutural;
- Não é aconselhável a construção de edifícios em grande altura, por se tratarem de edifícios com elevada massa;
- O descuido na escolha do material e a incorreta utilização do mesmo, resulta em produtos de má qualidade e péssimo aspeto estético;
- A necessidade imprescindível da estabilização dos solos, na tentativa de diminuir ao máximo todas as limitações existentes, em particular a baixa resistência mecânica e a elevada permeabilidade/capacidade de absorção de água;
- Discriminação social da construção em terra, uma vez que esta está associada à pobreza, resultando na reduzida legislação sob esta forma de construção, pelo mundo;

## **2.4 Patologias associadas à construção em terra**

As construções em terra, são particularmente vulneráveis às ações dinâmicas, relacionadas com a ação sísmica e ação da água, bem como o assentamento de fundações e a existência de cargas concentradas, onde a elevada vulnerabilidade é essencialmente devido à ausência de manutenções contínuas e conseqüente deteriorização dos elementos de proteção, bem como pela ausência de ligações entre as várias partes da estrutura (Peña & Lourenço, s.d.; Viejo e Fernández, s.d:19-20).



As anomalias observadas nas construções em terra, podem resultar quer de fatores intrínsecos, relacionados com características específicas de cada solo, designadamente a constituição granulométrica e o tipo de minerais argilosos existentes, quer de fatores extrínsecos, resultantes de ações mecânicas, ambientais e biológicas, sendo a última relacionada com insetos, particularmente térmitas, vegetação parasita e a atuação do homem desde a fase de construção até ao uso (Braga, 2011:78-79).

**Ações Mecânicas** – algumas ações mecânicas, onde o efeito das ações sísmicas é o mais prejudicial, podem provocar danos estruturais nas construções em terra, podendo ser mais ou menos gravosos consoante o estado de conservação do edifício. A origem destas patologias a nível estrutural, que levam à diminuição da capacidade mecânica do edificado, resultam desde a fendilhação, permitindo a abertura de caminhos preferenciais para o acesso da água que enfraquecerá o suporte, até à própria rotura e colapso da estrutura, quando o material se sujeita a ações de tração, compressão ou flexão (Almeida, 2015:89-91.; Gomes, 2012: 28-29; Rodrigues, 2003: 1-2, 2004:2-3, s.d).

**Ações Ambientais** – a relação com a água tem sido desde sempre um dos principais problemas das construções em terra. A presença de água, tanto no próprio solo, utilizada na amassadura ou derivada de fatores externos, como a chuva, torna-se um dos principais agentes de degradação deste tipo de construção, cujos efeitos e consequências, podem ser mais ou menos gravosos, consoante as características do solo em causa e o estado de conservação das construções em terra, podendo causar danos estruturais ou não estruturais, derivado do enfraquecimento e desintegração resultantes do humedecimento do material (Braga, 2011:78-79; Gomes, 2012: 28-29; Rodrigues, 2003:1-3).

- **Absorção de água** – penetração de água, no material de construção, por ascensão ou difusão capilar, ou infiltração através de zona fendilhada. Quando em contacto com os elementos de construção, a água poderá originar graves alterações no estado da construção, uma vez que a absorção de água provocará a dilatação, e posterior retração do material, quando a mesma evaporar, provocando fendilhação que permitirá o aumento das infiltrações, diminuindo a resistência mecânica da construção causada pela diminuição da coesão entre partículas, a diminuição do isolamento térmico, o desenvolvimento de vegetação parasita e o transporte de sais higroscópicos existentes no material (Rodrigues, 2003:2-3, 2004:2-3, s.d).

- **Condensação de vapor de água** – situações propícias à condensação de vapor de água, à superfície ou no interior dos elementos de construção, resultará no humedecimento do material que originará o desenvolvimento de fungos e bolores, que causarão a degradação da construção, diminuição do isolamento térmico, diminuição local da resistência mecânica e ainda o empolamento do revestimento ou acabamento (Rodrigues, 2003:2-3, 2004:2-3, s.d).
- **Erosão** – tem como principal origem a ação da água da chuva, onde o impacto direto ou repetido da mesma, provocará o desgaste dos elementos exteriores, com posterior erosão da superfície, quando essa água escorre. Para além deste tipo de erosão superficial, a água da chuva pode infiltrar-se, através de fendas existentes, transportando sais higroscópicos, existentes no material de construção, que ao cristalizarem, aquando da evaporação da água, aumentam de volume, possibilitando a ocorrência da erosão da construção.  
Quando a cristalização de sais ocorre no interior de elementos de construtivos, esta resulta na formação de criptoflorescências. Os cristais formados, apresentam dimensões consideráveis, aderindo à superfície interior do elemento construtivo, vindo posteriormente a aumentar o seu volume e conseqüentemente causando a degradação do material envolvente. Quando a cristalização de sais ocorre em uma face mais superficial, dos elementos construtivos, situação frequente neste tipo de construção, esta resulta na formação de eflorescências, responsáveis pela degradação superficial do parâmetro, resultando no destacamento do revestimento e degradação da camada superficial do suporte (Rodrigues, 2003:1-2, 2004:1-2, s.d).

Os seres vivos, bem como a própria atividade humana, pontualmente provocam choques acidentais em elementos construtivos, podendo estes choques, serem o suficiente para provocar o aparecimento de outras patologias relacionadas com a humidade.

As conseqüências resultantes da erosão, originam a degradação da superfície, diminuição da resistência mecânica do material, aumento da fendilhação e conseqüentemente o aumento da infiltração, absorção ou capilaridade (Rodrigues, 2003:1-2, 2004:1-2, s.d).

## 2.5 Técnicas construtivas em terra

De todas as técnicas de construção em terra existentes, as que mais se destacam pelo mundo são a taipa, o adobe e o tabique. Esta escolha encontra-se associada às características do solo, fator associado à própria região, ao conhecimento empírico, bem como aos recursos económicos utilizados e ao clima (Pinto, 2013:28).

### 2.5.1 Tabique

Considerado como um sistema de enchimento ou revestimento de uma estrutura de suporte, onde a terra funciona como um elemento secundário, o tabique trata-se de uma técnica de construção em terra, tendo surgido antes do século XVIII (Gonçalves & Gomes, 2012:3-5). Em Portugal, a utilização desta técnica, atingiu o auge da sua utilização no século XIX, com maior incidência a nordeste do continente, sendo um processo construtivo identificativo da arquitetura portuguesa.

No nosso país, esta técnica é caracterizada por geralmente, no piso térreo onde as paredes exteriores do edificado eram em alvenaria de pedra, o tabique funcionar como paredes de compartimentação, e nos restantes pisos, estas eram utilizadas como paredes exteriores (Figura 10), uma vez que esta técnica possibilita a construção de paredes finas e mais leves, em relação aos restantes métodos (Oliveira, 2014:14-15).



Figura 10 - Habitação antiga com parede exterior em pedra no piso inferior, seguida de parede em tabique no andar superior.  
(Fonte: <http://fringosa.blogspot.pt/2011/09/portela-santa-comba-dao.html> - 01/05/2016)

Tratando-se de uma técnica económica e de fácil execução, o tabique consiste na aplicação de material à base de terra crua argilosa ou siltosa, podendo misturar-se uma percentagem de fibras naturais, como a palha e os casulos das espigas de milho, sobre uma estrutura previamente concebida, em madeira ou cana, onde os elementos da mesma são colocados na posição vertical, horizontal ou inclinada (Figura 11), fixos entre si com pregos zincados, prevenindo que estes enferrujem (Pinto, 2013:32-37).

Neste método construtivo, é a madeira que confere capacidade resistente à parede (funcionando essencialmente à tração), enquanto a terra se resume ao material de enchimento (funcionando essencialmente à compressão) e revestimento (funcionando como acabamento) (Oliveira, 2014:14-15), protegendo a estrutura de madeira dos agentes biológicos, bem como de situações de incêndio (Pinto, 2013:34-37).

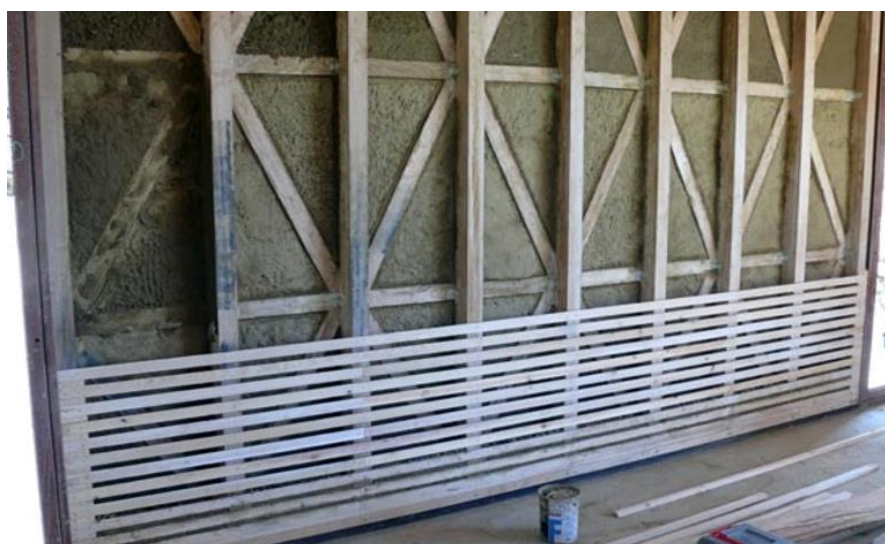


Figura 11 - Parede de tabique moderna, apresentando um tratamento mais cuidado.  
(Fonte: <http://eartharchitecture.org/?cat=80> – 01/05/2016)

Neste tipo de paredes, de um modo geral, apesar de não desempenharem funções estruturais quando se tratam de paredes interiores, uma vez que não recebem diretamente cargas verticais, a sua organização tem um importante papel no travamento geral da estrutura, mediante a interligação entre paredes, pavimentos e coberturas, decisivas para a capacidade resistente global do edifício (Gonçalves & Gomes, 2012:3-5; Nunes, 2013:6-7).

No caso das paredes exteriores em tabique, estas suportam algumas ações verticais, referentes ao peso exercido pelos elementos sobrejacentes, e ações horizontais, que têm origem na ocorrência de sismos e ventos (Pinto, 2013:34-37).

## 2.5.2 Taipa

Considerada uma técnica de construção monolítica, crê-se ter aparecido pela primeira vez em Carthage, cidade situada na Tunísia, Médio Oriente, fundada em 814 a.C. (Ponte, 2012:61).

Sendo uma técnica bastante antiga e popular, é das mais utilizadas em Portugal, onde até meados do século passado, por volta da década de 50/60, a taipa existia em uma parte considerável do Alentejo e Algarve, sendo utilizada na construção de moradias simples e para construções de menor qualificação, como estábulos e armazéns agrícolas, sendo ambas as construções feitas de um único piso (Pereira, 2013:13).

Não necessitando de muita água, aquando da sua preparação, e possibilitando a utilização de solos com uma reduzida percentagem de argila, é uma técnica apropriada para climas quentes e secos, com pouca precipitação (Oliveira, 2014:12-13; Pereira, 2013:10-11), encontrando-se com mais frequência, em zonas onde a água não abunda e onde os solos são caracterizados por serem mais pedregosos, grossos e secos (Nunes, 2013:5).

Este método construtivo consiste no enchimento e compactação de camadas finas de solo, com recurso a um pilão ou um compressor pneumático, entre taipais, por norma de madeira (Figura 12), que funcionam como cofragens assentes inicialmente sobre fundações de pedra, com cerca de 50 centímetros acima da superfície do terreno, que protegem toda a estrutura da corrosão provocada pela humidade ascensional (Nunes, 2013:5; Pinho, 2011).

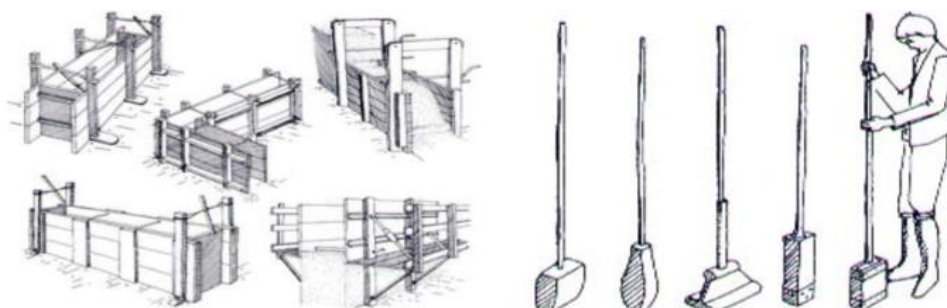


Figura 12 - Taipal e pilões para produção de paredes de taipa.  
(Adaptado: <http://colegaotaipadepilao.yolasite.com/a-tecnica-da-taipa.php>;  
<http://www.saomarcosdaserra.com/a-way-of-life.php> - 01/05/2016)

Após a secagem de cada fiada, é comum na taipa tradicional, a incorporação de outros materiais de reforço, como a pedra, a cortiça, ou argamassas nas juntas entre os blocos monolíticos, quando o solo não apresentava as propriedades desejadas para estabilizar as paredes (Jalali & Eires, 2008), procedendo-se posteriormente a execução de uma nova fiada, colocando os taipais sobre a parte já construída e repetindo-se assim o ciclo de trabalho até perfazer a altura desejada, permitindo a construção de paredes monolíticas resistentes e duradouras (Pinho, 2011; Ponte, 2012:95).

Quando as paredes exteriores tinham grande comprimento e não existiam estruturas interiores, que permitissem o aumento da estabilidade entre elas, optava-se pela construção de contrafortes, que eram maciços geralmente de alvenaria, de forma triangular, posicionados perpendicularmente à parede (Figura 13), que melhoravam substancialmente as condições de equilíbrio e consistência das paredes de taipa (Pinho, 2011).

Relativamente às outras técnicas, a taipa proporciona uma parede lisa, onde muitas vezes não é utilizado reboco (Figura 14), motivo pelo qual se apresentava como sendo um tipo de construção muito económico, com as vantagens a nível acústico e térmico que acarreta (Oliveira, 2014:12-13).



Figura 13 - Contraforte em casa de taipa no Algarve. Cacela Velha.  
(Fonte: <https://ciipcacela.wordpress.com/pessoas-objectos-lugares-e-paisagens/> - 13/05/2016)



Figura 14 - Parede de taipa em habitação moderna.  
(Fonte: <http://www.steffenwelsch.com.au/residential/rammed-earth-house.html> - 13/05/2016)

### 2.5.3 Adobe

Pertencendo ao grupo da alvenaria portante, a simplicidade de fabrico e edificação, bem como o baixo custo de produção desta técnica, poderão ser a razão de a maioria das construções em terra, construídas ao longo dos anos, terem sido feitas em adobe, muitas delas ainda habitadas nos dias de hoje (Pinho, 2011; Pinto, 2013:21-23).

Utilizando solos arenosos, finos e húmidos, geralmente ricos em argila, o adobe é uma técnica utilizada em locais onde não exista escassez de água, zonas próprias como vales e zonas ribeirinhas.

Os adobes são blocos de terra secos ao sol, produzidos a partir da mistura de solo e água, moldados à mão, ou regra geral, recorrendo à utilização de moldes de madeira, que lhes dará a forma pretendida (Figura 15). Estes são desmoldados ainda no seu estado fresco e colocados à temperatura ambiente, durante aproximadamente 15 dias, ou até atingirem a capacidade resistente desejada sem a necessidade de passarem por um processo de cozedura.



Figura 15 - Blocos de adobe sendo desmoldados.  
(Fonte: [http://www.betaoetaipa.pt/servicos\\_detail.php?servico=adobe](http://www.betaoetaipa.pt/servicos_detail.php?servico=adobe) – 13/05/2016)

Como o solo utilizado para a produção de adobes é mais argiloso, é usual reforçar a mistura com fibras vegetais como a palha, a fim de evitar ou reduzir a retração do material durante o seu período de secagem que originará o aparecimento de fissuras. As fibras adicionadas permitem ainda o aumento da resistência mecânica do material e diminuir a massa volúmica (Jalali & Eires, 2008; Oliveira, 2014:15; Pinto, 2013:21-23).

Após se encontrarem devidamente secos, os blocos de adobe estão prontos a serem utilizados como alvenaria, para a construção de abóbodas, cúpulas, arcos e paredes de habitações, apresentando bom comportamento térmico e acústico.

O assentamento da primeira fiada de blocos é realizado sobre uma fundação de pedra ou alvenaria de tijolo cerâmico (Figura 16), com um embasamento com cerca de 50 cm de altura acima da superfície do terreno, na tentativa de evitar problemas relacionados com a humidade ascensional do terreno, sendo utilizada uma argamassa à base de terra, com o objetivo de se obter um melhor comportamento na ligação entre os materiais (Jalali & Eires, 2008; Pinto, 2013:21-23).



Figura 16 - Construção de paredes em adobe, sobre uma fundação em tijolo cerâmico. (Fonte: <http://intermundos.org/residencias/prueba/> - 16/03/2017)

Após a conclusão da construção, em termos estéticos, alguns adobes, cuja formulação os torne menos sensíveis à ação da água, podem ficar expostos sem tratamento superficial (Figura 17), ou então podem ser rebocados com argamassa à base de terra, ou outro tipo de tratamento superficial, com o intuito de proteção contra as adversidades atmosféricas (Jalali & Eires, 2008).



Figura 17 - Habitação rural com paredes em adobe. (Fonte: <http://www.panoramio.com/photo/49317623> - 13/05/2016)



## **2.5.4 Blocos de Terra Compactada – BTC**

Surgindo no início do século XX, o desenvolvimento da construção com BTC, considerada como a técnica evolutiva do adobe, consiste na prensagem mecânica de solo no seu estado húmido confinado em um molde, permitindo a obtenção de pequenos blocos de terra compactada, mais densos, com maior resistência e durabilidade, relativamente ao adobe (Jalali & Eires, 2008; Lopes, 2012:15).

Correntemente chamado de “tijolo ecológico”, o seu processo de fabrico é o mais industrializável, relativamente às outras técnicas referidas, existindo um maior controlo da qualidade de produção, levando a que o BTC se torne uma das técnicas de construção em terra mais utilizadas atualmente (Oliveira, 2014:16-17), podendo produzir-se diversos tipos de blocos, diferenciados segundo a sua altura, largura e espessura (b x h x l), serem moldados de diferentes formas, tornando-os encaixáveis o que reduz ou elimina, o uso de argamassa (Gomes, 2008; Jalali & Eires, 2008).

Os BTC's podem ser usados em qualquer tipo de construção substituindo os blocos cerâmicos convencionais, independentemente da função, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto. As paredes tanto podem estar aparentes, como revestidas, quando protegidas da chuva, podendo receber diversos tipos de pintura ou revestimento cerâmico (Carvalho, 2012:10).

A utilização de uma prensa na produção de BTC's, é vantajosa, pois uma vez aplicada a carga de compactação, são reduzidos o número de vazios e a porosidade do solo, melhorando a compacidade do material, permitindo assim aumentar a sua resistência à compressão e a diminuição da sua capacidade de absorção de água (Mateus, 2004:109; Oliveira, 2014:16).

### **2.5.4.1 Vantagens e desvantagens dos BTC**

Sendo a maior parte das vantagens da construção em terra, comuns nos BTC, existem ainda outras características que tornam esta técnica, mais recente, uma das formas de construção em terra com maior potencialidade, para além da condicionante económica. Sendo a tecnologia utilizada, de fácil aprendizagem, não exigindo grandes capacidades técnicas, a mão-de-obra utilizada não necessita de grande qualificação para poderem operar, sendo capazes de produzir blocos mais estáveis e resistentes.

O equipamento utilizado para a produção, sob a forma de prensas manuais ou automáticas, permite uma melhor adaptação consoante a necessidade de produção, sendo as prensas automáticas mais precisas uma vez que garantem uma mesma força para a aplicação da carga, possibilitando um melhor controlo da produção, aumentando a qualidade e regularidade do produto final, facilitando assim a adaptação aos fatores sociais e culturais.

Contudo, não há só vantagens referentes a esta técnica de construção, sendo possível identificar algumas limitações, importantes de salientar, onde a maioria são comuns às limitações da construção em terra, referidas anteriormente, nomeadamente:

- Baixa resistência mecânica, comparativamente a materiais de construção mais populares, como o tijolo cozido e o betão;
- Mesmo que pouco, é necessário algum conhecimento por parte da equipa de trabalho para a produção de BTC's de qualidade, não sendo uma técnica tão simples relativamente ao adobe, taipa e tabique;
- A subestabilização ou a sobrestabilização podem diminuir a qualidade do produto e aumentar os custos;
- A falta de regulamentação adequada, é um entrave para a difusão e evolução desta técnica;

#### **2.5.4.2 Fabricação de BTC's**

##### **I - Processo de fabricação**

A facilidade associada à produção, bem como os baixos custos da mesma e a utilização de ferramentas sem grande desenvolvimento tecnológico, torna-se das principais vantagens relativamente ao fabrico de BTC's.

Após a obtenção da matéria-prima, e sempre que possível, de imediato, deve realizar-se um conjunto de ensaios laboratoriais a fim de se caracterizar o solo em questão, quantificando as propriedades do mesmo e determinando o seu comportamento.

Se o solo apresentar as características desejadas poderá então iniciar-se a sua preparação e em seguida a produção de BTC's (Figura 18).

Inicia-se a preparação da matéria-prima, passando a mesma por um processo de destorroamento e crivagem, antes de poder ser homogeneizada, com o objetivo de remover as partículas de maiores dimensões, indesejáveis no processo de produção que seriam responsáveis pela criação de fraturas e fragilizando o bloco, reduzir os grumos de argila, bem como a remoção de outros elementos indesejáveis, como é o caso da matéria orgânica.

Após a preparação do solo, procede-se à fase de mistura, onde se pretende obter uma massa homogénea para a produção dos blocos. Inicialmente a mistura é feita por via seca, misturando-se os materiais até se obter uma coloração uniforme, sendo a proporção da adição doseada, de modo a se obter um BTC com as melhores características utilizando-se a menor quantidade de adição possível. Após a mistura por via seca, a mistura é realizada por via húmida com a adição da quantidade de água correspondente ao teor em água ótimo.

Quando a mistura se encontrar preparada, com recurso a uma prensa, é possível proceder-se à compactação do solo preparado, para a produção dos blocos. Quando prensados, os blocos são distribuídos sobre uma superfície plana horizontal, numa zona protegida do sol, do vento e da chuva, até finalizarem o processo de cura.

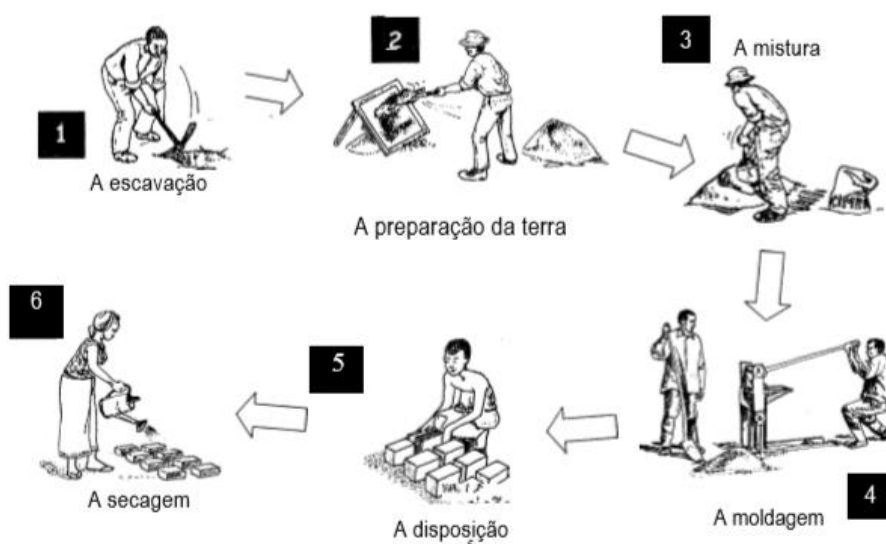


Figura 18 – Representação do processo de preparação do solo e produção de BTC's.  
(Fonte: Gomes, 2012. p.11)

## II - Maquinaria para prensagem de BTC

Tendo as primeiras experiências, para produção de BTC, sido realizadas na Europa, no início do século XIX, onde eram utilizados moldes de madeira que eram preenchidos com solo húmida, comprimido com os pés (Jalali & Eires, 2008; Lopes, 2012: 15), só a partir da década de 50, do século XX, com a invenção da prensa CINVA-RAM (Figura 19), pelo colombiano Raul Ramirez, na International American Housing Center (CINVA), é que a utilização dos BTC's em termos arquitetónicos se veio a expressar (Lopes, 2012:15; Torgal et al., 2009:50).

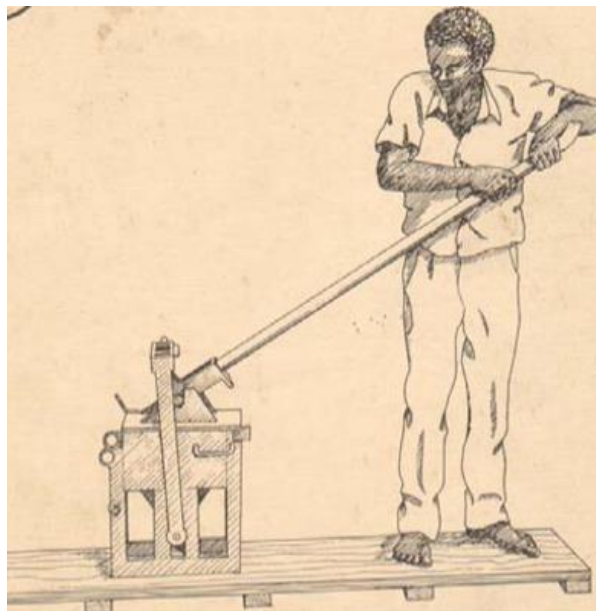


Figura 19 - Primeira prensa manual CINVA-RAM.  
(Fonte: Barbosa et al., 2002. p.4)

Sendo a prensagem considerada como uma estabilização mecânica, trata-se de uma técnica de rápida execução, de grande sustentabilidade, produzindo reduzida quantidade de resíduos, permitindo a produção blocos bastante resistentes e com diferentes formatos, utilizando equipamento com componentes de formas e dimensões variadas, onde a maquinaria se encontra dimensionada relativamente com a dimensão, produtividade e custo do empreendimento, sendo a forma de produção distinguida segundo o tipo de prensa utilizada (Lopes, 2012:23-25; Neves, 2006:5-6; Nunes, 2013:26):

- **Manual** – chegando a pressões de compactação, até aos 2 MPa, trata-se de uma prensa que requer menos custos para aquisição e manutenção da mesma. Tratando-se de uma técnica mais económica, uma vez que não necessita de energia para operação (Lopes, 2012:23-24; Neves, 2006:5), torna a produção mais demorada e requer mais mão-de-obra para a operação, com o recurso à força manual (Lopes, 2012:15; Nunes, 2013:26).

Sendo mais leves e pequenas, estas prensas são mais fáceis de transportar, podendo ser conduzidas até ao local da obra, utilizando-se o solo retirado do próprio terreno,

caso este apresente boas condições para a produção, evitando o transporte desnecessário e economicamente desvantajoso dos blocos (Lopes, 2012:24; Neves, 2006:5).

- **Automáticas** – aplicando pressões superiores às prensas manuais, com tensões a rondarem entre os 4-20 MPa, as prensas automáticas são mais produtivas, podendo produzir em série, sem a necessidade da força humana para operar, levando à diminuição da mão-de-obra para a produção de blocos (Neves, 2006:5).

Os blocos produzidos apresentam uma maior homogeneidade, sendo conseqüentemente mais resistentes mecanicamente e com uma maior resistência à água, resultado da maior coesão entre as partículas, derivado da diminuição do número de vazios (Jalali & Eires, 2008; Nunes, 2013:26).

Tratam-se de prensas de maiores dimensões e mais pesadas, com maiores custos de aquisição, manutenção e utilização, que podem ser fixas ou móveis, onde no caso das móveis é possível a produção no local na obra, à semelhança das prensas manuais, com a vantagem de uma maior rapidez de fabrico, permitindo manter uma maior sustentabilidade durante a construção, evitando, mais uma vez, o transporte desnecessário e economicamente desvantajoso dos blocos (Jalali & Eires; 2008).

### **III - Cura**

Possibilitando a construção de habitações de qualidade, para os blocos de terra compactada, a variação do tempo de cura é essencial para garantir o ganho de resistência expectável do elemento de terra crua, assim como garantir a durabilidade do mesmo face à ação de agentes externos, onde esse período pode variar em conformidade com a estabilização sofrida (Falcão, 2014:35-36).

Devendo o tempo de cura, ser um processo lento e controlado em ambiente quente e húmido, a fim de evitar a rápida saída de água do bloco, que produz um efeito negativo na qualidade dos mesmos, derivado da retração no material e a conseqüente abertura de fissuras, é aconselhável que estes se encontrem abrigados do sol, do vento e da chuva, de preferência cobertos com uma lona plástica, que impedirá a rápida evaporação da água, sofrendo sucessivas

molhagens com o objetivo de manter os blocos úmidos (Barbosa et al., 2002:7; Neves, 2006:4; Nunes, 2013:26-27).

O processo construtivo, desta técnica, é semelhante ao da alvenaria convencional, onde independentemente do tipo de BTC e do processo de execução da alvenaria, é recomendável a aplicação de uma camada de cimento, ou de um produto hidrófugo apropriado, entre a fundação e a primeira fiada de blocos, a fim de dificultar a subida da água por capilaridade (Neves, 2006:4).

### **2.5.4.3 Composição do solo**

Segundo o grupo CRAterre (Houben & Guillaud, 1989) e o grupo Proterra (Neves, et al., 2011: 12), qualquer solo, exceto os altamente orgânicos ou solos onde existe a presença predominante de argilas expansivas, pode ser utilizado como material de construção. Todavia, existem limitações referentes ao uso de determinados solos, relacionadas com a sua trabalhabilidade e outras características não desejáveis ao uso proposto, tomando como exemplo, quando se está na presença de um solo muito argiloso, torna-se difícil a mistura e compactação do mesmo e a sua elevada capacidade de retração, produz superfícies mal acabadas e de má qualidade (Neves et al., 2010:10-12).

Apesar do referido anteriormente, a qualidade dos blocos de terra compactada, depende sobretudo do tipo de solo que se utiliza, sendo fundamental efetuar uma caracterização do mesmo, definindo-se as suas propriedades granulométricas e mineralógicas e o seu comportamento mecânico em função do teor em água, realizando-se um conjunto de ensaios de campo e laboratoriais (Lopes, 2012:16-18; Nunes, 2013:21-23).

A componente mineral do solo, a sua composição mineralógica e a distribuição granulométrica, são os fatores mais importante para a constituição de um bom BTC, onde a quantidade dos diferentes constituintes, tais como argila, silte e material arenoso, influenciam a qualidade do bloco a produzir, levando vários autores e normas referentes a BTC, a definir quais as percentagens mais adequadas, dos diferentes constituintes do solo (Tabela 3), para a obtenção de um bom produto, uma vez que estas percentagem podem afetar o comportamento e as propriedades do bloco produzido (Gomes, 2012:4-6; Nunes, 2013:21-23).

Tabela 3 – Composição granulométrica ideal, segundo diferentes literaturas e normas.

	<b>Rigassi (1985)</b>  <b>Grupo CRA- Terre</b>	<b>Norma Australiana HB 195 (2002)</b>	<b>BARBOSA (2002)</b>	<b>Norma Colombiana NTC 5324 (2004)</b>	<b>Manual do BTC Uruguai (2006)</b>	<b>Norma Espanhola UNE 41410 (2008)</b>
<b>Areia / cascalho</b>	25-80%	45-80%	50-70%	28-82%	40-80%	28-82%
<b>Silte</b>	10-25%	10-30%	10-20%	15-50%	0-20%	15-50%
<b>Argila</b>	8-30%	5-25%	10-20%	10-30%	5-35%	10-30%

#### 2.5.4.4 Estabilização do solo

Muitas vezes, quando o solo não apresenta as características ideais, para a produção de blocos de terra compactada, é necessário estabilizar o mesmo, a fim de melhorar as propriedades dos blocos, ou corrigir a sua composição granulométrica (Gomes, 2012: 6-7), obtendo-se um material de construção mais durável e resistente, com possibilidade de diminuição do tempo de cura, podendo ainda reduzir-se a necessidade da aplicação de acabamentos e tratamentos superficiais, obtendo-se um aspeto mais adaptado às atuais exigências sociais (Jalali, & Eires, 2008; Neves, 2006:6-7; Oliveira, 2014:27).

- **Estabilização Mecânica** – os métodos de estabilização mecânica procuram melhorar as características do solo, através da melhor organização das suas partículas constituintes, com o principal objetivo de diminuir o número de vazios existente neste. A estabilização mecânica por compressão, possibilita assim a alteração da porosidade, da permeabilidade e da compressibilidade de um solo, sendo este tipo de estabilização conseguida essencialmente através de 3 métodos, como referido na Tabela 4 (Gomes, 2012:7-8).

Tabela 4 - Métodos de estabilização mecânica por compactação

<b>Estabilização Mecânica</b>	<b>Compressão estática</b>	Força exercida por uma prensa automatizada.
	<b>Compressão dinâmica</b>	Força exercida por impacto que cria uma onda de choque e de pressão que coloca as partículas em movimento.
	<b>Compressão por vibração</b>	Utilização de aparelhos de vibração que exercem impactos rápidos sobre o solo. Este movimento elimina temporariamente a fricção interna e permite a reorganização das partículas.

- **Estabilização Química** – A fim de diminuir a sensibilidade à água, às altas taxas de contração e expansão e à baixa resistência à abrasão do BTC, recorre-se ao melhoramento das propriedades do solo pela adição de ligantes, como por exemplo, cimentos, cal, betumes, produtos químicos ou produtos naturais, que alteram as características do mesmo, através de reações físico-químicas, que aumentam a resistência mecânica e diminuem a vulnerabilidade à água, apresentando no entanto algumas desvantagens, como o aumento dos custos na produção e a toxicidade dos materiais. A quantidade das adições deve ser controlada, de maneira a evitar a subestabilização, ou sobrestabilização que reaja em excesso com a restante mistura, diminuindo a qualidade do produto (Gomes, 2012:7-8; Silva, et al., 2014).
- **Estabilização física** – A alteração da textura do solo é realizada através da mistura controlada de partículas de diferentes composições e granulometrias, procedendo-se à correção de um solo, segundo o resultado obtido na curva granulométrica, onde por exemplo, no caso de um solo ser muito argiloso e plástico poderá corrigir-se o mesmo, adicionando-se material mais arenoso. No caso de existir um excesso de partículas finas, são adicionadas partículas mais grossas, que irão conferir melhores características mecânicas ao solo. Quando o solo utilizado é do tipo mais grosseiro, a correção é feita por remoção das partículas mais grosseiras, através da peneiração, ou pela adição de material mais fino (Gomes, 2012: 7-8; Torgal & Jalali, 2011).



A estabilização física pode ainda ser realizada através da incorporação de fibras, de natureza orgânica ou inorgânica, tendo como objetivo reduzir o fenômeno de retração, melhorar o processo de cura e por vezes obter-se a redução do peso do bloco. Durante o processo de mistura, a incorporação de fibras deve ser alvo de cuidada atenção, uma vez que a qualidade do produto pode ser influenciada (Lopes, 2012:18).

Segundo o grupo Proterra (Neves, 2006), é recomendando o uso de um solo com uma percentagem de areia superior a 50%, responsável pela estruturação do bloco, sendo por vezes necessário adequar o solo disponível, estabilizando-o, para a produção de um bom BTC, quando são apresentadas quantidades mais elevadas de argila, uma vez que apesar de a mesma ter função aglutinante nas partículas do solo, esta também é responsável pelo efeito de retração do solo durante a secagem do bloco, originando a ocorrência de fissuras e consequentemente a diminuição da qualidade do mesmo.

#### **2.5.4.5 Teor em água**

Tendo influência direta na trabalhabilidade, homogeneidade, coesão, absorção, porosidade, durabilidade e desempenho físico-químico dos blocos, a quantidade e proporção de combinação de água na mistura é essencial para a obtenção de um BTC com boas características, sendo fundamental determinar o teor em água ótimo, que varia de solo para solo, sendo este obtido através do ensaio PROCTOR (compactação dinâmica) (Lopes, 2012: 18).

#### **2.5.4.6. Diferentes tipos de BTC**

Como já referido anteriormente, é possível produzir-se diferentes tipos de blocos de terra compactada, diferenciados segundo a sua altura, largura e espessura ( $b \times h \times l$ ), tal como no caso do tijolo cerâmico e o de betão, podendo estes serem moldados de diferentes formas, de acordo com a sua utilização, sendo classificados segundo o grupo CRAterre como:

- **Blocos sólidos** (Figura 20) – são blocos maciços, principalmente de forma prismática, podendo ser cubos, paralelepípedos, prismas hexagonais, etc. A sua utilização é muito diversificada.

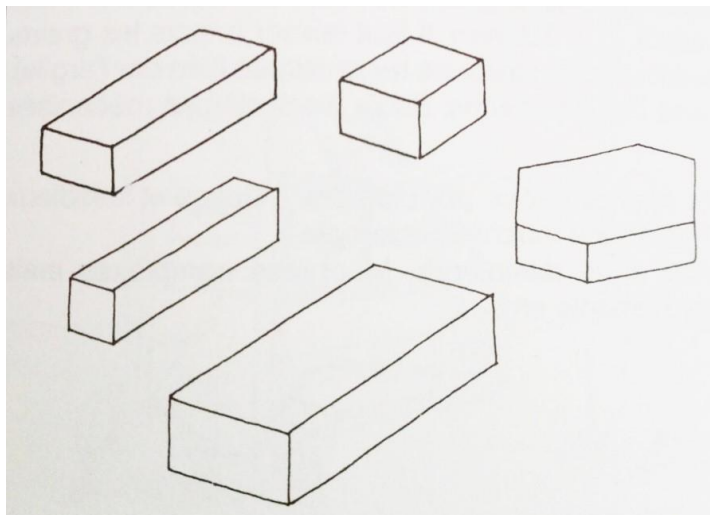


Figura 20 - Exemplo de blocos sólidos  
(Fonte: Houben & Guillaud, 1989. p.217)

- **Blocos Ocos** (Figura 21) – distinguem-se pela presença de um maior número de vazios (15% a 30%) e um avanço tecnológico na sua produção. Apresentam normalmente uma maior aderência e um peso mais reduzido, comparativamente aos blocos sólidos.

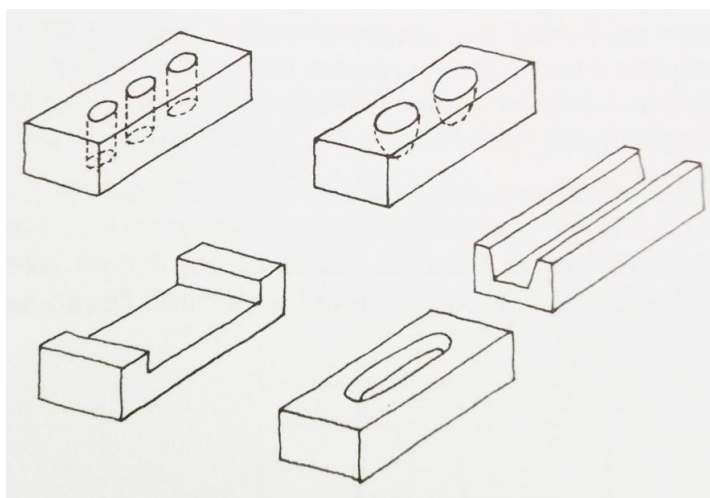


Figura 21 - Exemplo de blocos ocos.  
(Fonte: Houben & Guillaud, 1989. p.217)

- **Blocos perfurados** (Figura 22) - apresentam características mecânicas mais interessantes que as referidas anteriormente e tratam-se do tipo de blocos mais adequados para áreas com forte atividade sísmica. A sua ligação deve ser feita com o auxílio de argamassa.

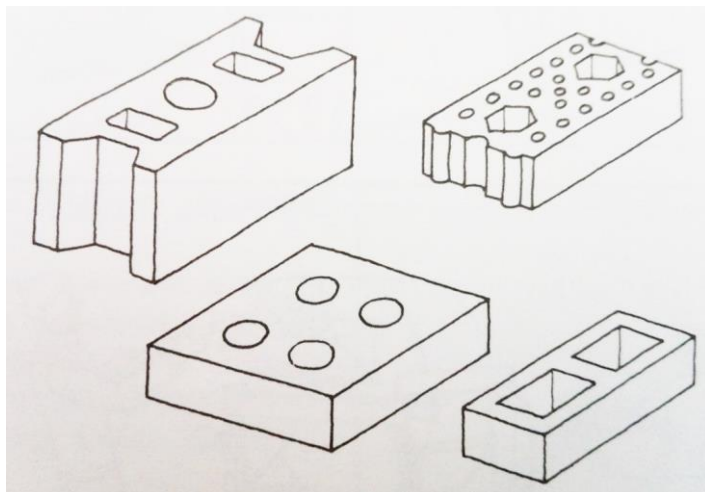


Figura 22 - Exemplo de blocos perfurados  
(Fonte: Houben & Guillaud, 1989. p.217)

- **Blocos Interligados** (Figura 23) – por norma, é dispensado o recurso a argamassas, para a sua união, exigindo moldes sofisticados e pressões mais elevadas na fase de produção.

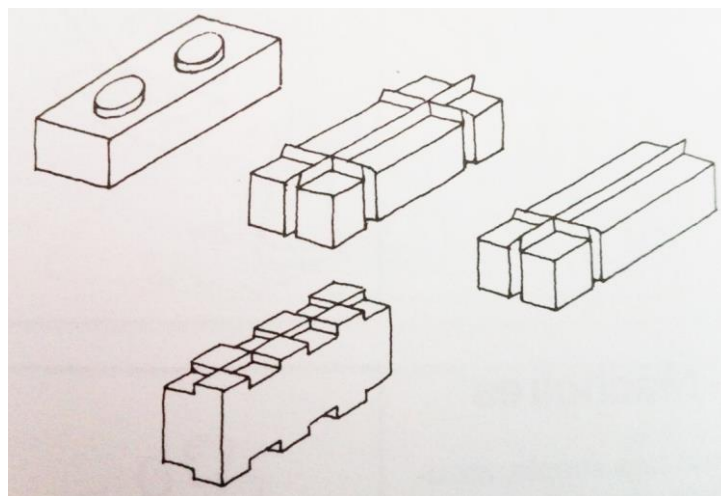


Figura 23 - Exemplo de blocos interligados.  
(Fonte: Houben & Guillaud, 1989. p.217)

- **Blocos Parasísmicos** (Figura 24) – apresentam características que melhoram o comportamento do elemento, face a um sismo, e permite uma melhor integração dos sistemas sísmicos estruturais.

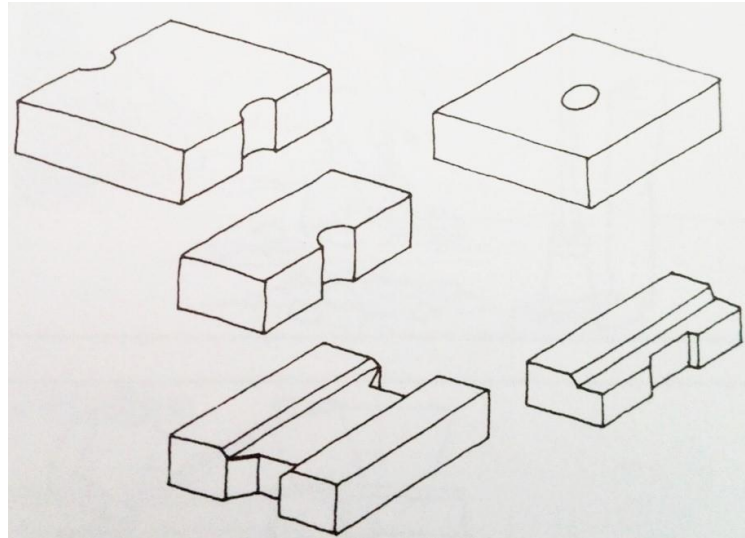


Figura 24 - Exemplo de blocos parasísmicos  
(Fonte: Houben & Guillaud, 1989. p.217)

#### 2.5.4.7 Regulamentação

*“...há, antes, que destruir o preconceito, de certo modo psicológico que, contra a terra como material de construção, geralmente existe, estudando e porventura melhorando os seus processos de emprego tradicionais, para depois, enobrecido assim o material, o recomendar”*  
(Gomes & Folque, 1953. Especificação LNEC)

A falta de regulamentação relacionada com a construção em terra, bem como o declínio na sua utilização, na segunda metade do século XX, levaram a que durante vários anos, apesar das potencialidades que este tipo de arquitetura apresenta, se continuassem a utilizar métodos de produção baseados no saber empírico adquirido ao longo dos anos de grande utilização das técnicas, em vez de se investir na evolução das mesmas, segundo o conhecimento científico atual (Oliveira, 2014:21-24).

Cada vez mais valorizados, são os benefícios económicos, ecológicos e técnicos que a construção em terra promove, permitindo uma evolução positiva no que diz respeito ao interesse e importância deste sistema construtivo, originando a que um pouco por todo o mundo, sejam

desenvolvidas iniciativas, a fim de impulsionar o “regresso” deste tipo de construção (Lopes, 2012:9-12).

Em diversos países, já existe um forte interesse na criação de documentos legais, que regulem o uso das técnicas de construção em terra, resolvendo problemas relacionados com a falta de documentos normativos que garantam a qualidade e segurança da construção produzida, na expectativa de apaziguar as incertezas e enobrecer as suas vantagens (Oliveira, 2014:21-24; Peñafiel, 2013:36-42) na tentativa de resgatar a matéria-prima em questão, do conceito de “material desatualizado” e expandir a ideia pelo resto do mundo, apelando a um reconhecimento institucional, à criação de regulamentação própria e ao desenvolvimento de uma política de formação na área.

Apesar de ser uma das técnicas mais recentes, o BTC, já ganhou valor em alguns países, despertando o interesse na produção desta técnica, devido às suas capacidades resistentes, bem como a nível económico, levando a que em muitos países nos últimos anos, se tenha vindo a trabalhar no desenvolvimento de documentos normativos, para a produção de blocos que poderiam, ou não, ser estabilizados, como se pode ver na Tabela 5, referidos em Cid, J. et al., (s.d.).

Tabela 5 - Principais normas e regulamentos referentes a BTC's.

<b>País / Região</b>	<b>Documento</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ano</b>	<b>Técnica</b>	<b>Notas</b>
<b>Austrália</b>	Bulletin 5	D.N.	1952	BTCE	Reúne um conjunto de recomendações sobre as boas práticas da construção em terra.
	The Australian Earth Building Handbook	D.N.	2001		
<b>Brasil</b>	NBR 8491	D.N.	1984	BTCE	Fixa as condições exigíveis para a produção de blocos estabilizados com cimento, bem como os métodos de ensaio.
	NBR 8292	D.N.	1984		
<b>Tunísia</b>	NT 21.33		1988	BTC	
	NT 21.35		1988		
<b>Sri Lanka</b>	SLS 1382 1-3		1988	BTCE	
<b>Novo México</b>	New México Earthen Building Material Code		1991		Primeiro regulamento estadual, contendo indicações para a seleção de solos e teor de água e estabelece requisitos em termos de métodos de construção e cofragem a utilizar.

Tabela 5 - Principais normas e regulamentos referentes a BTC's (Continuação).

<b>Nova Zelândia</b>	NZS 4297		1998	BTC	Regulamento mais completo, a nível internacional, referente à construção em terra, em função da altura dos edifícios.
	NZS 4298		1998		
	NZS 4299		1998		
<b>Quênia</b>	KS02-1070		1999	BTCE	
<b>França</b>	XP P13-901		2001		Norma Experimental
<b>Colômbia</b>	NTC 5324	D.N.	2004	BTCE	Especifica definições, requisitos, exigências e métodos de ensaio para a produção de blocos estabilizados com cimento
<b>Itália</b>	Ley n°378		2004	BTC	
	L.R. 2/06 2		2006	BTC	
<b>Espanha</b>	UNE 41410	D.N.	2008	BTC	Primeira norma europeia, específica definições, requisitos, exigências e métodos de ensaio para a produção de BTC
<b>Índia</b>	IS:1725		2011	BTCE	

D.N. – Documento Normativo

---

# Capítulo 3

## Materiais

---





### 3.1 Enquadramento Geológico do local de amostragem

Pertencente ao distrito de Évora, o concelho de Montemor-o-Novo, foi a zona escolhida para a realização da amostragem do solo em estudo, com o conveniente de se encontrar na mesma localidade onde se situam as instalações, Oficinas do Convento, onde a primeira fase da componente prática foi realizada.

O local da amostragem em questão (Figura 25) localiza-se na freguesia de Nossa Senhora da Vila, mais propriamente na zona alta da vila, nas proximidades do Castelo de Montemor-o-Novo, situado numa propriedade privada, indicada pelo Arq. Nuno Grenha, como sendo uma zona com possível potencial para utilização do solo na construção com terra, uma vez que uma parcela do mesmo já tinha sido utilizada para a produção de paredes em taipa, no próprio terreno.



Figura 25 - Local da amostragem (Google earth, 2013)

Com base na Carta Geológica de Portugal, folha 35D, à escala 1/50 000 (Figura 26), e na respetiva notícia explicativa (Carvalhosa & Zbyszewski, 1994), a zona da colheita do solo fica enquadrada na Formação do Escoural, da idade do Pré-Câmbrico, mais precisamente da Era do Proterozoico Superior, pertencente à zona de Ossa-Morena, sector Montemor-Ficalho. Segundo o apresentado na Carta Geológica e na notícia explicativa, esta zona é caracterizada pela presença de rochas metamórficas<sup>3</sup>, designadamente os micaxistos e os paragnais-ses. Trata-se de rochas que sofreram um metamorfismo regional<sup>4</sup> e são constituídas maioritariamente por quartzo, micas e feldspatos.

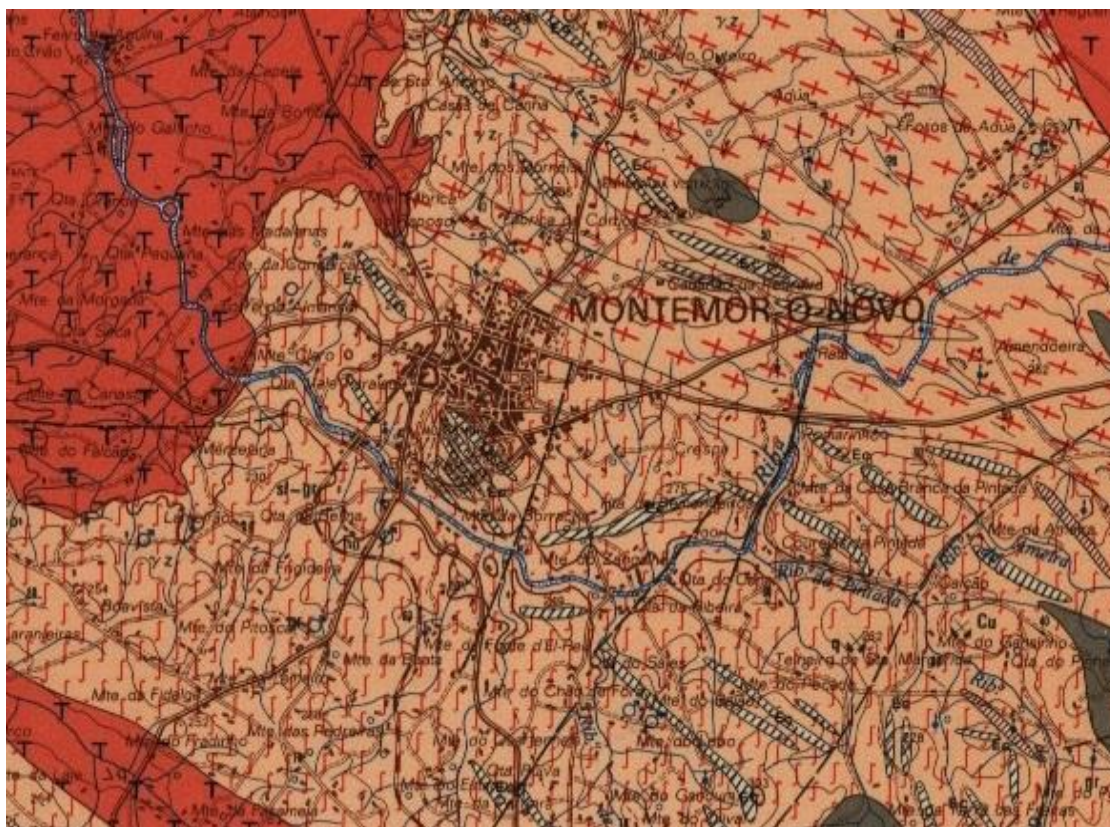


Figura 26 - Excerto da carta geológica 35D - Montemor-o-Novo, à escala 1/ 50 000.

---

<sup>3</sup> Rochas Metamórficas-rochas resultantes da transformação de uma rocha preexistente, após sofrer transformações químicas e físicas, quando submetidas a elevadas temperaturas, pressões e atuação de fluidos em zonas mais profundas da crosta terrestre.

<sup>4</sup> Metamorfismo Regional-metamorfismo relacionado com a tectónica de compressão, por convergência dos limites, entre a zona Centro Ibérica e a zona Sul Portuguesa, onde se verificaram altas pressões e temperaturas, originando os micaxistos e os paragnais-ses, a partir de um substrato sedimentar.

## 3.2 Ensaio expedito

Utilizados antigamente pelos mestres da arte de construção em terra, tratam-se de ensaios de fácil execução, tendo como objetivo a determinação das propriedades qualitativas e quantitativa do solo, fornecendo uma primeira abordagem sobre a sua adequabilidade para o fim a que se destina.

Foram assim realizados um conjunto de ensaios ao solo, referido em 3.1, realizados no próprio local de extração, segundo o descrito pelo grupo CRAterre (Houben & Guillaud, 1989: 56-61) e Proterra (Neves et al., 2011: 15-27).

### 3.2.1 Testes Táctil-visuais

#### a) Caracterização do tamanho das partículas

Espalhar uma fina camada de amostra seca, sobre uma superfície plana e separar as partículas correspondentes a areias e pedregulhos, visíveis a olho-nu (Figura 27).

Todo o restante material, com uma dimensão inferior, corresponderá à silte e à argila.

Se a quantidade de silte e argila for maior que a quantidade de areia e pedregulho, o solo classifica-se como siltoso ou argiloso.

Caso contrario, o solo classifica-se como arenoso.



Figura 27 - Caracterização do tamanho das partículas. A olho-nu é possível separar-se o material de maior dimensão do restante.

Fonte: a autora

**b) Caracterização da cor** – Se o solo em questão apresentar uma coloração clara e brilhante, este apresenta as características de um solo inorgânico. Caso as cores sejam mais parecidas com café escuro, verde oliva ou negro, o solo apresenta as características de um solo orgânico (Figura 28).



Figura 28 - Caracterização da cor. Exemplo de 2 solos distintos.  
Fonte: a autora

**c) Caracterização do brilho** – Utilizando uma porção de solo ligeiramente humedecida, até fazer uma pasta consistente, formar uma bola com o auxílio das mãos. Após concluída a formação da bola, a mesma deve ser cortada ao meio, utilizando uma espátula. Se a superfície apresentada for opaca, o solo tem predominância de argila, caso esta apresente uma superfície brilhante, o solo tem predominância de silte (Figura 29).

Há que ter atenção ao avaliar-se o resultado deste teste, uma vez que o brilho apresentado pelo solo pode ser originado por quartzo ou determinada quantidade de micas, presentes no solo.



Figura 29 - Caracterização do brilho. Exemplo de 2 tipos de solos distintos.  
Fonte: a autora

**d) Ensaio do tato** – Utilizando uma porção de solo, livre de partículas de maior dimensão, esfregar a amostra entre os dedos, permitindo verificar se se está na presença de um solo arenoso, caso se verifique uma sensação áspera e não haja coesão entre as partículas do solo. O solo será argiloso se, no estado seco existirem torrões resistentes ao esmagamento, que após humedecidos apresentam um comportamento plástico e pegajoso.

**e) Ensaio de lavagem** – Esfregar uma porção de solo, ligeiramente humedecida, na palma da mão. A posterior lavagem da mão permitirá concluir se o solo em questão é mais arenoso ou argiloso, de acordo com a maior ou menor facilidade, respectivamente, que a lavagem apresentar (Figura 30).



Figura 30 - Ensaio de lavagem  
Fonte: a autora

Após a realização dos testes tátil-visuais é possível classificar o solo, segundo os parâmetros constantes da Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação do solo, por inspeção tátil-visual. Adaptado de Proterra

	<b>Textura e aparência do solo</b>
<b>Areia</b>	Textura granular. É possível visualizar o tamanho dos grãos. Flui livremente se seca.
<b>Solo Arenoso</b>	Textura granular, porém, com suficiente silte e argila para observar a sua coesão. Predominam as características das areias.
<b>Solo Siltoso</b>	Textura fina. Contém uma quantidade moderada de areia fina e uma pequena quantidade de argila. Suja os dedos como talco. No estado seco tem uma aparência compacta. Pulveriza com facilidade.
<b>Solo Argiloso</b>	Textura fina. Quando seco, fratura-se em pedaços resistentes. Em estado húmido, é plástico e agarra-se aos dedos. É difícil de pulverizar.
<b>Solo Orgânico</b>	Textura esponjosa. Odor característico de matéria orgânica, tornando-se mais acentuado quando o solo é humedecido ou aquecido.

**3.3.2 Ensaio de sedimentação** – Mesmo tratando-se de um teste de sedimentação simplificado, é possível determinar-se, de uma maneira simples, as frações dos componentes do solo. Utilizando-se um frasco transparente, de fundo plano e cilíndrico, enche-se o mesmo com solo, até perfazer  $\frac{1}{4}$  da altura do frasco, completando-se os restantes  $\frac{3}{4}$  da altura com água. Após agitar-se o frasco, de maneira a homogeneizar a porção de solo utilizada com a água, a mistura deve repousar, sobre uma superfície horizontal, durante cerca de 1 hora. Após 1 hora agitar o frasco novamente e deixar repousar.

Cerca de 45 minutos depois já é possível verificar-se a deposição das camadas mais grosseiras dos componentes do solo.

Segundo o grupo CRAterre, após 8 horas, a deposição dos sedimentos está concluída e é possível medir a altura de cada camada depositada, permitindo de forma aproximada, determinar as percentagens dos componentes constituintes do solo (Figura 31).

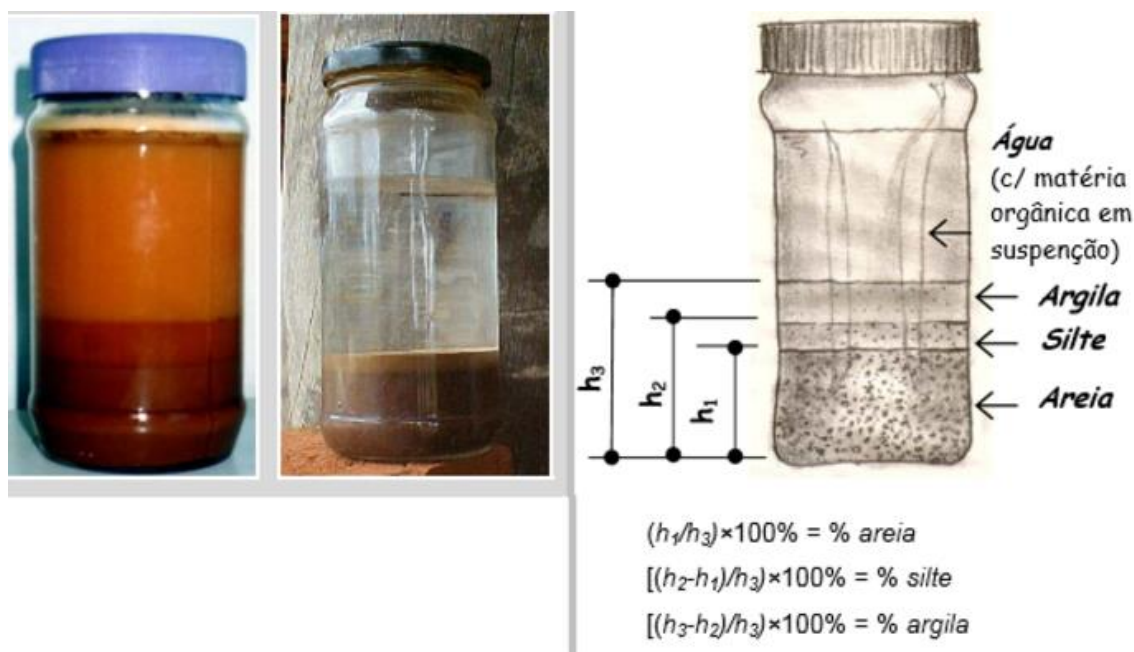


Figura 31 - Ensaio de sedimentação. À esquerda, o exemplo de um teste onde ainda existe uma quantidade considerável de argila em suspensão, seguido do exemplo de um teste de sedimentação finalizado. À direita as indicações sobre o cálculo de cada fração dos componentes do solo. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.19)

**3.2.3 Teste da queda da bola** – Utilizando uma porção de solo ligeiramente humedecida, até se obter uma pasta consistente, fazer uma bola, com cerca de 4 centímetros de diâmetro. Deixa-se cair a bola de uma altura de aproximadamente 1 metro, sobre uma superfície plana. Se a bola ficar mais plana e com poucas, ou nenhuma, fissuras, o solo é argiloso e propenso à retração. Caso a bola se desfaça no chão, é porque o solo não contém concentrações de argila apropriadas para a construção (Figura 32).



Figura 32 - Teste da queda da bola: aspecto do espalhamento, em função do tipo de solo. (Fonte: Neves, et al., 2010, p.18)

**3.2.4 Teste da resistência seca** – Utilizando uma porção de solo com a mesma percentagem de água utilizada no teste anterior, moldar 3 pastilhas com cerca de 1 cm de espessura e 2 a 3 cm de diâmetro. Após totalmente secas, recomendando-se que as pastilhas fiquem 2 ou mais dias a secar ao sol, tentar partir as pastilhas ao meio, como se de uma bolacha se tratasse (Figura 33).

A resistência oferecida, quando se tenta partir as pastilhas, permitirá classifica o solo segundo os parâmetros constantes da Tabela 7.



Figura 33 - Teste da resistência seca. (Fonte: Neves, et al., 2010, p.23)

Tabela 7 - Avaliação do teste da resistência seca. Adaptado de Proterra

Resistência	Esforço de rutura	Comportamento	Classificação e interpretação
Grande	Resistente	Não se pulveriza	Solo inorgânico de alta plasticidade. Argila.
Média	Pouco Resistente	É possível reduzir os pedaços em pó	Solo argilo-siltoso, solo argiloso ou areia argilosa. Se for argila orgânica, não usar.
Pouca	Não resiste	Fácil desagregação	Falta de coesão. Solo arenoso, siltoso inorgânico ou outro com pouca argila.

**3.2.5 Teste da fita** – Utilizando uma porção de solo com a mesma percentagem de água utilizada no teste anterior, fazer um pequeno cilindro com as dimensões de um cigarro comum. Com o polegar e o indicador, amassar o cilindro de modo a formar uma fita, com aproximadamente 3 a 6 mm de espessura e o maior comprimento possível (Figura 34).



Figura 34 - Teste da fita: formação do "cigarro" e da fita. Imagens superiores: tentativa da formação do "cigarro" e da fita com solo argiloso; Imagem inferior: Tentativa da formação do "cigarro" com solo arenoso. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.21)

Após a realização do teste da fita é possível classificar o solo, segundo os parâmetros constantes da Tabela 8.



Tabela 8 – Avaliação do teste da fita. Adaptado de Proterra

Tipo de fita	Comportamento da fita	Classificação e interpretação
<b>Longa</b>	É possível formar uma fita entre 25 a 30 cm, sem dificuldades	Muita argila. Solo de alta plasticidade.
<b>Curta</b>	É possível formar uma fita entre 5 a 10 cm, com dificuldade	Solo argilo-siltoso, arenoso ou areno-argiloso. Plasticidade mediana
	Não faz a fita	Bastante silte ou areia e pouca argila. Sem plasticidade

**3.2.6 Teste do rolo** - Utilizando uma porção de solo, com a mesma percentagem de água utilizada no teste anterior, fazer um cilindro com cerca de 20 cm de comprimento e 2,5 cm de diâmetro. Deslizar o rolo sobre a extremidade de uma superfície plana até ocorrer a rutura do mesmo (Figura 35).

- Se o cordão se romper com menos de 8 cm, existe pouca quantidade de argila no solo;
- Se a rutura se der com comprimento entre os 8 e 12 cm, a quantidade de argila é a ideal;
- Se o cordão se romper acima dos 12 cm, existe muita quantidade de argila no solo;



Figura 35 - Teste do rolo: o solo apresentado tem carácter argiloso. (Fonte: Neves, et al., 2010. p.26)

**3.2.7 Teste de retração linear** – realizado utilizando uma caixa de 60 cm de comprimento, 4 cm de largura e 4 cm de altura, utiliza-se uma porção de solo ligeiramente humedecida, que encherá a caixa, tendo-se o cuidado de preencher os cantos da mesma para que não haja espaços vazios. Com o auxílio de uma espátula, ou régua, suaviza-se a superfície e compacta-se o solo até a caixa se encontrar totalmente preenchida (Figura 36).

A caixa é exposta ao sol durante 3 dias, para que o solo possa secar devidamente, ou fica a secar a sombra durante 7 dias. Após este período, empurra-se a massa seca de solo para uma das extremidades da caixa e mede-se a retração total do solo, na outra extremidade (Figura 37), onde para a produção de BTC's é aconselhável que a retração não ultrapasse os 20 mm.



Figura 36 - Teste de retração linear. Exemplo de uma caixa de retração. (Fonte: a autora)



Figura 37 – Medição da retração total do solo.  
(Fonte: a autora)

### 3.2.8 Resultado dos ensaios expeditos

Nesta primeira abordagem ao solo, revelou-se que o mesmo, por maioria dos resultados, resulta de um solo inorgânico com tendência para o arenoso, com alguma concentração de silte ou argila, devido à coesão observada e segundo o teste da caixa de retração linear, o solo encontra-se apto para ser utilizado na produção de BTC's.

Os resultados obtidos do conjunto de ensaios expeditos, realizados ao solo, encontram-se apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado dos ensaios expeditos

Ensaio	Resultado	Observações
<b>Caracterização do tamanho das partículas</b>	Solo arenoso	
<b>Caracterização da cor</b>	Castanho claro	Solo inorgânico
<b>Caracterização do brilho</b>	Com algum brilho	Predominância de silte, ou presença de quartzo ou micas
<b>Ensaio do tato</b>	Solo arenoso	
<b>Ensaio da lavagem</b>	Solo arenoso	Textura granular, porém, com suficiente silte e argila para observar a sua coesão
<b>Ensaio de sedimentação</b>	Areias – 67,69 % Silte – 24,7 % Argila – 7,61 %	
<b>Teste da bola</b>	Solo argiloso	Bola plana e com poucas fissuras
<b>Teste da resistência seca</b>	Média	Solo argilo-siltoso, solo argiloso ou areia argilosa.
<b>Teste da fita</b>	7,1 cm	Solo argilo-siltoso, arenoso ou areno-argiloso. Plasticidade mediana
<b>Teste do rolo</b>	7,2 cm	Pouca quantidade de argila no solo
<b>Caixa de retração linear</b>	0,45 cm $\approx$ 0,75%	Apto para produção de BTC

### 3.3 Preparação do solo

O cuidado na recolha do solo é importante no sentido de se evitar a utilização de um solo que contém matéria orgânica, lixo e vestígios de vegetação, que acabarão por diminuir a qualidade dos blocos.

A amostragem teve início, dispensando-se a primeira camada de solo superficial, com uma espessura de 50 cm, recolhendo-se o das camadas inferiores, totalizando uma massa de aproximadamente 2m<sup>3</sup>, que foi utilizada durante a campanha experimental.

Após a recolha da amostra total de solo (Figura 38), o mesmo necessita de tratamento, passando por uma fase inicial, onde será destorroado, quando este se encontrar praticamente seco, utilizando-se um moinho de hélices (Figura 39).



Figura 38 - Amostragem de solo, utilizado na campanha experimental, no estado natural.

(Fonte: a autora)

Após o destorroamento (Figura 40), o mesmo foi peneirado, tendo sido utilizado o peneiro disponível, com uma malha de 7mm (Figura 41), rejeitando-se todo o material com uma dimensão superior à da malha. Após a finalização da primeira fase de preparação do solo, o mesmo é homogeneizado e esquartelado, com posterior recolha de uma quantidade representativa de amostra, para a realização dos ensaios laboratoriais



Figura 39 - Moinho de hélices utilizado para o destorroamento do solo. (Fonte: a autora)



Figura 40 - Solo após ter sido destorroado. (Fonte: a autora)



Figura 41 - Visualização da separação de partículas do solo, após ter passado pelo peneiro apresentado. (Fonte: a autora)

### **3.4 Ensaiois laboratoriais**

Após a homogeneização e esquartelamento do solo, foi recolhida a quantidade de amostra necessária para a execução dos ensaios laboratoriais, realizados no laboratório de Geociências da Universidade de Évora.

Tendo sido excluída inicialmente parte da amostra total que foi recolhida para realização dos ensaios, destinada para o ensaio de compactação (ensaio Proctor), a restante foi utilizada para preparação de amostras representativas na quantidade necessária para a realização de ensaios pretendidos, realizado segundo a especificação E195-1966 – “Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação”, onde após a passagem do solo por um repartidor, o mesmo é crivado pelo peneiro indicado para a preparação de determinado ensaio.

O reconhecimento preciso do comportamento de um solo, é um dos fatores mais importantes a analisar quando é referida a adequabilidade de um solo, antes da sua utilização. O solo deve ser analisado de forma a ser possível identificar as suas características e prescrever a sua estabilização, sendo então necessário, proceder-se a ensaios que permitam obter um conhecimento cientificamente sustentado. A grande vantagem destes ensaios é o facto de ao serem normalizados, ser possível obter-se resultados qualitativos de suas características, facilitando a comparação com resultados de outras experiências e a identificação do solo ideal para a produção de elementos em terra.

#### **3.4.1 Teor de matéria orgânica**

Realizado segundo o procedimento utilizado pelo laboratório Ambiterria, da Universidade de Évora, o ensaio da determinação da matéria orgânica – “Combustão seca e análise elementar”, consiste na determinação do carbono orgânico presente em uma amostra e posterior cálculo numérico da percentagem de matéria orgânica existente em um solo ou sedimento. A determinação do carbono orgânico é feita por combustão seca e análise elementar após a solubilização e remoção do carbono inorgânico do solo, sob a forma de carbonatos, com ácido clorídrico.

São utilizadas 2g de amostra, passada pelo peneiro de malha 0,063mm, à qual são adicionados 3mL de uma solução de ácido clorídrico concentrado (37%), que irá reagir na amostra.

O processo repetir-se-á as vezes necessárias, até deixar de haver qualquer tipo de reação. Posteriormente a amostra é transferida para um recipiente próprio, onde após a adição de água destilada, a mesma é levada a um aparelho de ultrassons e à centrifugadora, de forma a remover a acidez excessiva.

É desprezada a solução, sendo adicionada mais água destilada a fim de se repetir a passagem pelo aparelho de ultrassom e centrifugadora, até que o resultado da análise ao pH da solução, se encontre entre 5 e 6.

Após a secagem da amostra em estufa, a uma temperatura de 60°C, a mesma é moída e são pesadas cerca de 20mg de amostra, para uma cápsula de estanho, que será fechada com o auxílio de pinças metálicas, sempre com o cuidado de não tocar nas cápsulas com as mãos, a fim de não contaminar a amostra. A amostra é introduzida no analisador elementar, onde é analisada a concentração de carbono, azoto, hidrogénio e enxofre. A partir do valor obtido, relativamente à concentração de carbono, é calculada a percentagem de matéria orgânica existente no solo, através da Equação 1.

$$M. O (\%) = C. org \times 1,724 \quad (\text{Equação 1})$$

M.O (%) – Percentagem de matéria orgânica

C.org – Percentagem de carbono orgânico existente numa amostra de solo

Para a realização deste ensaio, foram produzidas 4 réplicas, provenientes da amostra previamente tratada, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de determinação de matéria orgânica

<b>Nº da Réplica</b>	<b>Carbono Orgânico (%)</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>
1	1,11	1,914
2	1,17	2,017
3	1,17	2,017
4	1,15	1,983
	Média:	1,983

Torna-se fácil de constatar, através da tabela anterior, que os valores da percentagem de carbono orgânico, entre as réplicas da amostra, são praticamente idênticos, significando que o método utilizado, para a determinação dos mesmos, é adequado, que as pesagens foram bem realizadas e indica ainda que a amostra estava bem homogeneizada.

Após a obtenção destes valores, é calculada a percentagem de matéria orgânica, sendo possível chegar-se à conclusão que o solo em questão tem uma concentração de matéria orgânica de 1,983%, respeitando o referido na norma UNE 41410, na norma HB 195-2002 e segundo o grupo CRAterre, que ditam que todo o solo com uma percentagem de matéria orgânica superior a 2%, não é adequado para a construção em terra.

### 3.4.2 Teor em água do solo no estado natural

Realizado segundo a norma NP 84 – 1965 (NP, 1965) – “Determinação do teor em água”, o ensaio de determinação do teor em água do solo, permite determinar o teor em água existente no solo na altura da recolha do mesmo. Segundo o protocolo, retiraram-se amostras do solo recolhido para estudo, determinando-se a massa do solo húmido, sendo em seguida colocadas na estufa durante um período de pelo menos 48 horas, a  $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , tempo considerado suficiente para que ocorra a evaporação de toda a água existente no solo, ficando assim o solo seco. A diferença da massa entre o solo húmido e o solo seco corresponde à massa da água existente na amostra de solo. Posteriormente calcula-se o teor em água do solo no estado natural (Equação 2).

Deve ter-se em atenção que no caso de solos contendo matéria orgânica, quando as amostras vão à estufa após a colheita, a temperatura não deve exceder os  $60^{\circ}\text{C}$ , visto que a mesma pode ser calcinada, diminuindo assim o peso real de solo seco. Por outro lado, nos solos contendo gesso, as temperaturas elevadas podem contribuir para evaporação da água de constituição desse material.

$$W (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

W (%) – Percentagem do teor em água do solo em estado natural

m1 (g) – massa do recipiente

m2 (g) – massa do recipiente e do provete antes da secagem

m3 (g) – massa do recipiente e do provete seco



Do ensaio de determinação do teor em água realizado ao solo no seu estado natural, obteve-se o resultado apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultado do ensaio de determinação do teor em água do solo no estado natural

Amostra	Teor em água (%)
1	3,03
2	3,10
Média:	3,07

### 3.4.3 Análise Granulométrica

A análise granulométrica permite determinar a dimensão das partículas constituintes de um solo, definindo a distribuição percentual, do peso total das partículas de uma amostra, de acordo com as suas dimensões, fazendo-se passar uma porção de solo, que sofre uma lavagem, através de um conjunto normalizado de peneiros de malha quadrada, de dimensões decrescentes, onde o material retido representa a fração do solo com uma dimensão superior à da malha desse peneiro, mas inferior a malha do peneiro precedente.

Realizado segundo a especificação E 239 – 1970 LNEC (E239, 1970) – “Análise Granulométrica por Peneiração Húmida”, a quantidade de solo a analisar é tanto maior, quanto maior for a componente grosseira existente na amostra, definido segundo o descrito na especificação E 195 – 1966 – “Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação”, onde o ensaio consiste na separação da fração grossa, da fração fina através de um conjunto de peneiros.

A análise granulométrica da fração retida até ao peneiro nº200 (0,074mm) e da fração passada no mesmo peneiro são efetuadas separadamente, onde para as partículas de maiores dimensões é utilizado o método referido anteriormente, peneiração por via húmida, enquanto que no caso das partículas de menores dimensões, a análise da dimensão das partículas será realizada através de um Sedigraph, permitindo completar o gráfico referente à análise granulométrica.

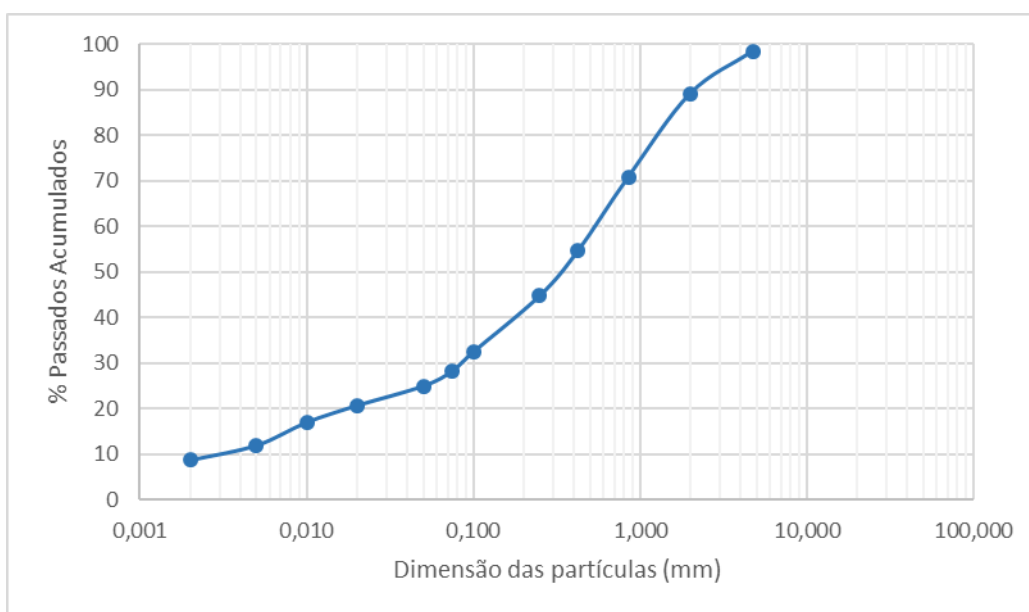
O Sedigraph é um aparelho que utiliza um feixe estreito de raio-X, com o objetivo de medir a concentração de partículas de uma amostra de solo, em meio líquido, permitindo determinar em percentagem, os valores das dimensões dessas mesmas partículas através de uma

escala, sendo possível construir curvas granulométricas para partículas com dimensões inferiores a 0,1mm, reduzindo-se o erro comparativamente ao ensaio de granulometria por sedimentação com a utilização de densímetro.

São utilizadas 40g de uma amostra de solo passada pelo peneiro de 2mm, à qual são adicionados 50mL de água oxigenada que irá reagir na amostra, procedendo-se à queima da matéria orgânica. O processo repetir-se-á as vezes necessárias, até deixar de haver qualquer tipo de reação. Posteriormente a amostra é transferida para um copo de agitador, sendo adicionados 20mL de uma solução dispersante, de Hexametáfosfato de sódio, indo ao agitador durante 15 minutos. Após os 15 minutos toda a mistura é passada por um crivo de 0,2mm e 0,1mm, onde o material retido em cada crivo é introduzido na estufa, até atingir o seu peso seco, para posterior pesagem. O restante material, ou seja, com dimensão inferior a 0,1mm, é introduzido num recipiente próprio do Sedigraph, para a realização da análise de determinação das dimensões e a quantidade de finos da amostra.

Com a realização dos ensaios de análise granulométrica, referidos anteriormente, é possível construir a curva correspondente à granulometria do material em questão, através de um gráfico onde são representadas, para determinada dimensão de partículas, a correspondente percentagem do material.

Após a realização dos ensaios para determinação da granulometria do solo, foi executado um ajustamento entre as curvas correspondentes ao ensaio de análise granulométrica por via húmida e o ensaio de sedimentação, de modo a obter-se uma única curva correspondente à granulometria total do solo, facilitando a posterior análise da mesma (Figura 42).



Argila	Silte	Areia			Pedregulho		
		Fina	Média	Grossa	Fino	Médio	Grosso
0,002	0,06	0,2	0,6	2,0	6,0	20,0	

Figura 42 - Curva granulométrica referente ao solo em estudo, com escala ABNT.

Após a análise da curva, resultante do ensaio de granulometria realizado ao solo, e segundo o verificado através da escala granulométrica de ABNT é possível concluir-se que o solo em questão é formado, segundo as dimensões das suas partículas constituintes, por: (Tabela 12):

Tabela 12 - Valores percentuais da dimensão das partículas do solo, segundo a escala ABNT.

Argila	Silte	Areia			Cascalho
		Fina	Média	Grossa	Fino
8,71%	17,29%	16,02%	20,02%	27,01%	10,95%

Classificado como um solo franco-arenoso, onde existe a predominância de areia, ao comparar-se com os parâmetros definidos por outros autores, no que toca à percentagem de material constituinte do solo, referido em 2.5.4.3, verifica-se que o solo submetido à análise granulométrica, cumpre todos os parâmetros propostos, segundo o estabelecido pelo grupo CRATerre, a Norma Australiana e o Manual de BTC do Uruguai.

### **3.4.4 Limites de Consistência**

Também conhecidos como limites de Atterberg, os limites de consistência, permitem avaliar o comportamento de um solo, numa fração inferior a 0,425mm, quando se encontra na presença de água. A avaliação das características de plasticidade de um solo é determinante para a correta previsão do seu comportamento, que varia consoante o maior, ou menor, teor em água presente no mesmo, responsável pelas mudanças entre os estados de consistência, definindo assim os possíveis estados, sólido, plástico ou líquido, delimitando o limite de plasticidade e o limite de liquidez.

Para realização dos ensaios de limites de consistência, deverá cumprir-se o referido na norma NP 143-1969 (NP 143, 1969) – “Determinação dos limites de consistência”, onde segundo a mesma, a determinação destes limites é somente aplicável a um solo com cerca de 30%, ou mais, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0,05mm, excluindo os solos predominantemente arenosos. Este conjunto de ensaios são realizados utilizando-se aproximadamente cerca de 200g de material passado através do peneiro nº40 (0,425mm). Após a preparação do solo, é adicionada água destilada suficiente, para formar uma pasta homogênea e com uma textura semelhante à plasticina, após amassar durante um período de 5 minutos, por cada adição de água.

Quando na presença de um solo argiloso, segundo a norma é aconselhável deixar o material húmido repousar durante 24 horas, num recipiente fechado, para que a humidade se distribua uniformemente pelas partículas, permitindo a hidratação das argilas. Após 24 horas é garantida a repartição homogênea da água pela amostra de solo, sendo possível prosseguir-se com a determinação dos limites.

#### **a) Limite de Liquidez**

A determinação do limite de liquidez, corresponde ao teor em água referente à transição do estado plástico para o estado líquido, assumindo que o solo se encontra no limite de liquidez, quando são necessárias 25 pancadas para unir os bordos do sulco, como definido na norma. Após se verificar se a concha de Casagrande, se encontra perfeitamente limpa e se cai livremente, toma-se uma porção da pasta, preparada anteriormente, e coloca-se na concha, de modo a obter-se uma camada nivelada, com uma espessura máxima de 1 cm. Realiza-se um sulco aberto e limpo no provete, com o auxílio do riscador normalizado, na extensão do seu

comprimento, e ensaia-se o primeiro provete, acionando a manivela, à razão de 2 voltas por segundo, até que as 2 porções do provete, separadas pelo sulco, entrem em contacto, numa extensão de 1 cm, anotando-se o número de pancadas correspondentes e retirando-se com a ponta da espátula, parte do material da zona onde ocorreu a união, que será pesado logo após a recolha e pesado novamente após ir a estufa, permitindo determinar o teor em água do ensaio, segundo a especificação E 16 – 1953 LNEC (E16, 1953).

Ensaiado o primeiro provete, serão sucessivamente preparados mais 5 provetes, por adição de novas quantidades de água destilada à pasta, de forma a tornar-se mais fluída.

Os teores em água dos provetes devem ser escolhidos de modo a que o número de pancadas necessárias para unir os bordos dos sulcos, variem entre 10 e 40 e se distribuam, em 3 ensaios abaixo das 25 pancadas, e os outros 3 ensaios acima das 25 pancadas.

Segundo a norma, seriam realizados unicamente 4 provetes, mas é aconselhável a realização de 6 provetes, a fim de se ter 2 provetes salvaguardados, escolhendo-se os melhores valores, e evitando a repetição do ensaio caso algum valor obtido não seja o mais adequado.

Dos ensaios realizados para determinação dos limites de liquidez (Figuras 44 e 45) e de plasticidade (Figuras 46 e 47), obtiveram-se os resultados constantes na Figura 43 e Tabela 13 (LL), bem como na Tabela 14 (LP).

#### a) Limite de Liquidez

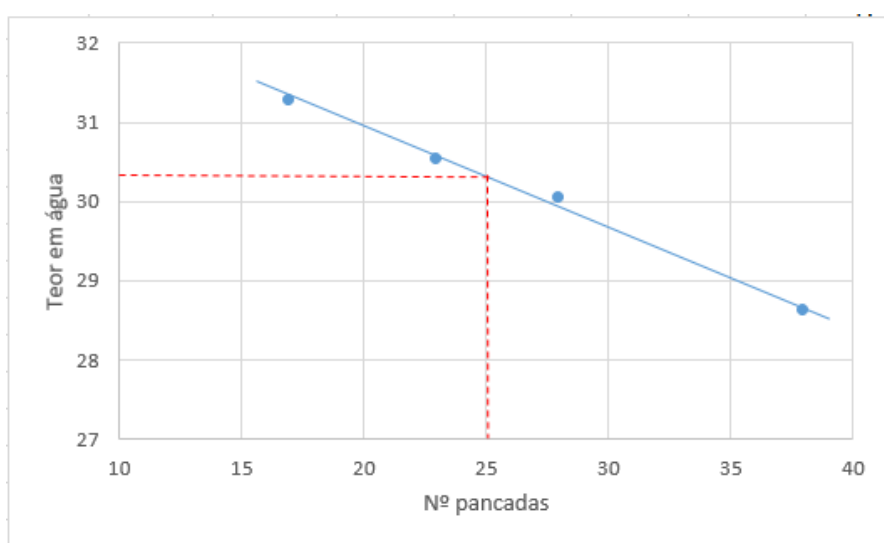


Figura 43 - Apresentação gráfica dos valores obtidos, após a realização do ensaio para determinação do limite de liquidez.

Tabela 13 - Valores obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez, realizado ao solo.

Ponto	Nº pancadas	Teor em água (%)
1	17	31,275
2	23	30,521
3	28	30,033
4	38	28,618
	L.L =	30,112 $\approx$ 30%



Figura 44 - Concha de Casagrande. Aparelho utilizado para a determinação do limite de liquidez. (Fonte: a autora)



Figura 45 - Resultado de 6 provetes realizados para determinação do limite de liquidez. (Fonte: a autora)

## b) Limite de Plasticidade

A determinação do limite de plasticidade, corresponde ao teor em água referente à transição do estado plástico para o estado sólido, onde é assumido o menor teor em água com que ainda é possível moldar um cilindro de solo de 3 mm de diâmetro, por meio de rolagem.

Este ensaio realiza-se, rolando uma porção de pasta, com a palma da mão sobre uma placa de vidro, até se formar um filamento cilíndrico com aproximadamente 3mm de diâmetro, que derivado a uma progressiva secagem do provete, provocará a fissuração e rotura do mesmo. Juntam-se os pequenos filamentos, resultantes da rotura do filamento inicial, que serão pesados logo após a recolha e pesados novamente após irem a estufa, permitindo determinar o teor em água do ensaio, segundo a especificação E 16 – 1953 LNEC (E16, 1953).

Caso a fissuração inicie quando o cilindro tem um diâmetro superior, ao referido anteriormente, adiciona-se mais água à mistura. Já se o cilindro com 3mm de diâmetro não apresentar fissuras, será necessário adicionar mais solo à mistura.

Ensaio o primeiro provete, foram sucessivamente preparados mais 5 provetes, sendo o limite de plasticidade, a média do teor em água dos 6 provetes.

Segundo a norma, seriam realizados unicamente 4 provetes, mas é aconselhável a realização de 6 provetes, a fim de se ter 2 provetes salvaguardados, escolhendo-se os melhores valores, e evitando a repetição do ensaio caso algum valor obtido não seja o mais adequado.

Tabela 14 - Valores obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade, realizado ao solo.

Cápsula	Teor em água (%)
1	24,81
2	24,68
3	25,00
4	25,00
L.P =	24,870 $\approx$ 25%



Figura 46 - Realização do ensaio para determinação do limite de plasticidade.  
(Fonte: a autora)



Figura 47 - Resultado de 6 provetes realizados para determinação do limite de plasticidade  
(Fonte: a autora)

### c) Índice de Plasticidade

Após a determinação do limite de liquidez e de plasticidade, procede-se ao cálculo do índice de plasticidade do solo, através da diferença entre os limites, valor este que representa, fisicamente, a quantidade de água necessária a acrescentar ao solo, para que este passe do estado plástico para o estado líquido, sendo o mesmo classificado quanto à sua plasticidade, segundo uma gama de intervalos (Tabela 15).

Tabela 15 – Intervalo de valores referente ao IP e respetiva classificação de solo

Valores de Plasticidade (%)	Classificação
IP = 0	Não Plástico
1 < IP < 7	Pouco Plástico
7 < IP < 15	Plasticidade Média
IP > 15	Muito Plástico

Índice de Plasticidade = 5%          Solo pouco plástico

Após a obtenção dos resultados, que caracterizam o solo quanto à sua plasticidade, há a necessidade de comparação com parâmetros definidos por outros autores, a fim de se proceder à sua classificação (Figura 48 e Tabela 16).

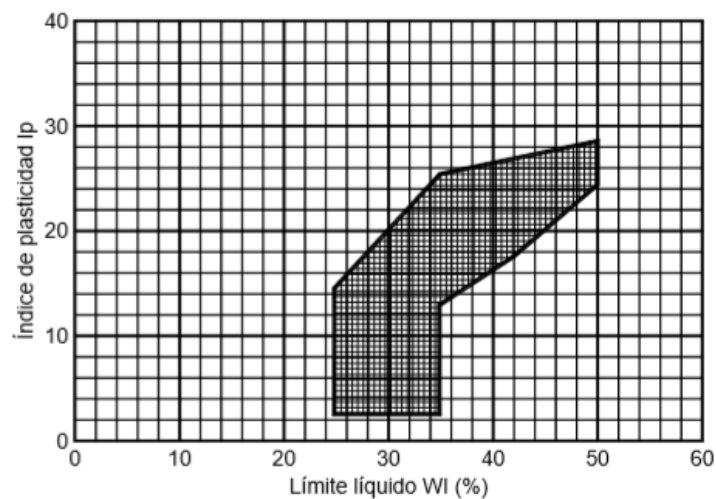


Figura 48 - Carta de plasticidade. Intervalo recomendado, segundo UNE 41410 e HB 195.



Tabela 16 – Classificação do tipo de solo, segundo diversos autores.

		Tipo de solo		
		Argiloso	Siltoso	Arenoso
<b>CRATerre</b> (1979)	L.L.	>40%	20-50%	0-30%
	L.P.	-	-	-
<b>Proterra</b> (2011)	I.P.	>20%	5-25%	0-10%
<b>Minke</b> (2012)	L.L.	28-150%	15-35%	10-23%
	L.P.	20-50%	10-25%	5-20%
	I.P.	15-95%	5-15%	<5%
Intervalos recomendados para a utilização de solo para construção, segundo diferentes autores				
		Intervalo reco- mendado	Máximo e mí- nimo	
<b>Doat</b> (1979)	L.L.	30-35%	25-50%	
	L.P.	12-22%	10-25%	
	I.P.	7-18%	7-29%	
<b>Barbosa</b> (2002)	L.L.	<40-45%	-	
<b>Uruguai</b> (2006)	L.L.	<45%	-	
	I.P.	<18%	-	

Comparando os resultados obtidos, com os parâmetros definidos por outros autores, torna-se fácil de constatar que o solo em questão se enquadra na categoria de “Solo Siltoso”, respeitando maioritariamente, os intervalos recomendados pelos autores acima referidos, para a sua utilização em construção em terra.

### 3.4.5 Grau de atividade das argilas

Sendo a constituição mineralógica dos minerais de argila bastante variada, pode ocorrer em determinado tipo de solo, que os valores referentes aos índices de consistência sejam elevados, enquanto em contrapartida a quantidade de minerais argilosos presente no mesmo seja baixa. Quando ocorre um caso deste tipo, está-se na presença de uma argila muito ativa, onde

essa pequena fração de argila presente no solo, consegue transmitir ao mesmo o seu comportamento argiloso, dando a ideia que o solo poderá classificar-se como argiloso.

Segundo Skempton<sup>5</sup>, esse fenómeno foi definido por atividade da fração argilosa, resultando numa expressão (Equação 3) que permite medir a atividade da fração argilosa, podendo essa mesma atividade ser classificada, segundo um intervalo de valores (Tabela 17), onde quanto maior for a atividade das argilas, maior a superfície específica, logo maior possibilidade para retenção de água, e consequente maior expansibilidade e deformabilidade.

$$Ac = \frac{IP}{\% < 0,002 \text{ mm}} \quad (\text{Equação 3})$$

Tabela 17 - Grau de atividade de argilas e respetiva classificação

<b>Atividade das argilas (Ac)</b>	<b>Tipo de argila</b>
Ac < 0,75	Pouco ativa
0,75 < Ac < 1,25	Normalmente ativa
1,25 < Ac < 2	Ativa
Ac > 2	Muito ativa

Após a determinação do grau de atividade dos minerais argilosos, presentes no solo, estes são classificados como pouco ativos.

$$Ac = \frac{5}{8,71} = 0,57 \%$$

### 3.4.6 Classificação de solos do ponto de vista geotécnico

Mediante os resultados obtidos através da análise granulométrica e dos limites de consistência, pode-se proceder à classificação dos solos, de acordo com a especificação LNEC E240-

<sup>5</sup> Alec Skempton, engenheiro civil inglês, reconhecido internacionalmente como o “pai” da mecânica dos solos, juntamente com Karl Von Terzaghi.

1970 – “Solos-Classificação para fins rodoviários” e a classificação unificada de solos segundo a norma ASTM D 2487-66T.

Segundo a especificação do LNEC, o solo em questão classifica-se como um A-2-4 (0), tendo como constituintes significativos dos materiais, seixos e areias siltsos ou argilosos, com um comportamento na camada sob o pavimento entre o excelente e o bom.

Segundo a classificação unificada de solos, como referido na norma ASTM D 2487-66T, após a realização do cálculo do coeficiente de curvatura (Equação 4) e do coeficiente de uniformidade (Equação 5), bem como o resultado obtido através da realização do ensaio para determinação dos limites de consistência, é possível classificar-se o solo em questão como SM-areia siltosa, mal graduada.

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{Equação 5})$$

D60 – Diâmetro equivalente que corresponde a 60% na granulometria

D30 – Diâmetro equivalente que corresponde a 30% na granulometria

D10 – Diâmetro equivalente que corresponde a 10% na granulometria

### **3.4.7 Ensaio de Expansibilidade**

A expansibilidade encontra-se, por norma, relacionada com o processo físico-químico ligado à hidratação dos minerais argilosos, presentes numa fração de solo, sendo possível observar-se dois tipos de expansibilidade, quando na presença de um fluído: a expansibilidade inter-cristalina, onde existe a adsorção de água, ocorrendo nas superfícies externas dos cristais argilosos e nos vazios existentes entre eles, e a expansibilidade intracristalina, onde existe a absorção de água, levando ao afastamento das camadas estruturais dos minerais argilosos.

Realizado segundo a especificação E 200 – 1967 LNEC (E200, 1967) – “Ensaio de Expansibilidade”, o ensaio de expansibilidade, permite determinar a variação de volume, expressa percentualmente, de uma fração de um solo passado no peneiro nº40 (0,425mm), durante a absorção de água por capilaridade.

O referido ensaio é realizado utilizando-se aproximadamente cerca de 100g de material, passado através do peneiro nº40 (0,425mm), que é compactado em duas camadas aproximadamente iguais, num molde padronizado com uma placa porosa na base. Finalizada a compactação, o aparelho é colocado dentro de um recipiente de vidro e após a montagem do defletómetro é introduzida água destilada no recipiente, até ao nível da face superior da base do aparelho, que corresponde à face superior da placa porosa que se encontra em contacto com o solo, e inicia-se o cronómetro para se proceder as leituras. Serão feitas leituras periódicas até que duas leituras, com intervalos de 2 horas, apresentem o mesmo valor ou um valor decrescente.

Após finalizadas as leituras, o material é transferido para uma caixa de Petri, que será pesado logo após a recolha e pesado novamente após ir a estufa, permitindo determinar o teor de expansibilidade e o teor em água do ensaio, segundo a especificação E 16 – 1953 LNEC (E16, 1953).

Do ensaio de expansibilidade (Figura 50) a que o solo foi submetido, obtiveram-se os resultados constantes da Figura 49.

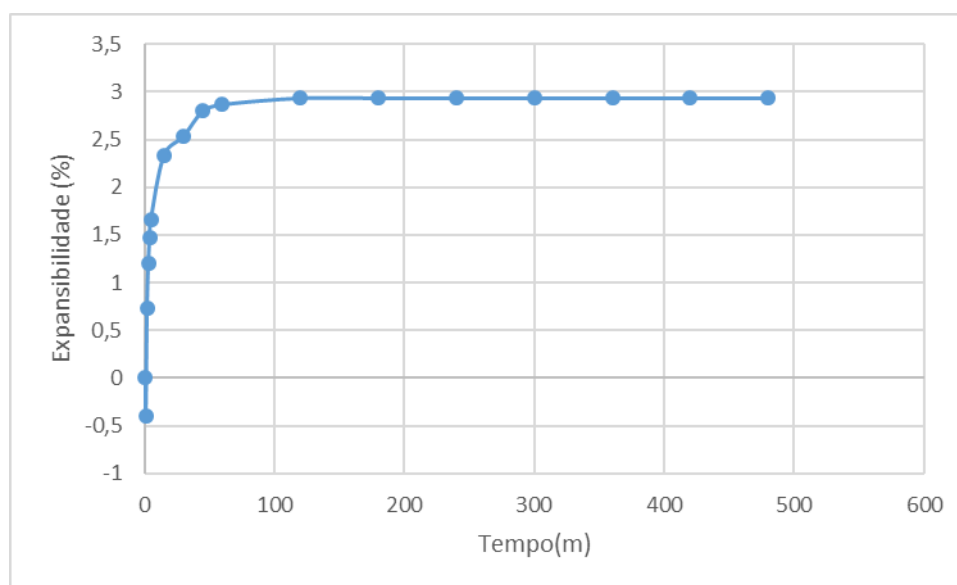


Figura 49 - Apresentação gráfica das leituras obtidas, através da realização do ensaio de expansibilidade



Figura 50 - Aparelho para determinação da expansibilidade do solo.

Apesar de não existir uma classificação referente a este ensaio, após a determinação do valor de expansibilidade de 2,93%, tratando-se de um valor relativamente baixo, conclui-se que o solo é pouco expansivo. Nota-se que no primeiro minuto de leituras (Figura 49) há a diminuição do valor inicial, correspondendo a uma redução do volume do provete, justificado com o ajustamento das partículas entre si, adensando-se, após a entrada da água no mesmo.

### **3.4.8 Ensaio de Compactação (Proctor)**

Com o intuito de se proceder à estabilização de um solo, recorre-se à compactação do mesmo, por aplicação de alguma forma de energia, como o impacto, a vibração, a compressão estática ou dinâmica, conduzindo à diminuição do volume aparente de uma dada massa de solo e conferindo, conseqüentemente, um aumento do peso específico do mesmo, uma maior resistência ao cisalhamento e uma diminuição do índice de vazios, resultando numa maior capacidade de resistência à compressão e à permeabilidade, ou seja, quanto mais compactado o solo se encontrar, menos poroso e mais resistente o mesmo será.

Realizado segundo a especificação E 197 – 1966 LNEC (E197, 1966) – “Ensaio de Compactação”, o ensaio de compactação, permite obter a ligação existente entre o teor em água ótimo e a baridade (massa volúmica aparente) seca de um solo quando compactado com determinada energia, realizado segundo sucessivos impactos de um pilão de compactação

padronizado, fazendo-se variar o teor em água no solo de forma a se obter o ponto de compactação máxima, onde a maior energia de compactação aplicada assim o refere, responsável pela obtenção do teor em água ótimo de compactação, utilizado posteriormente para a realização dos provetes.

Este ensaio varia relativamente à dimensão do molde utilizado, uma vez que o tamanho do mesmo é em função da granulometria do material a ensaiar, utilizando-se 6 frações de solo, com um peso específico segundo o tipo de molde a utilizar, diferenciados pela quantidade de água adicionada a cada fração, com teores em água crescentes com diferenças de 2%, tendo sido preparados com pelo menos 12 horas de antecedência, quando se tratar de um material argiloso.

Como referido na norma, o molde pequeno é utilizado quando a percentagem de material retido no peneiro nº4 (4,25mm) não é superior a 20%. Caso a percentagem de material retido no peneiro nº4 (4,25mm) for superior a 20%, então o ensaio não tem significado, devendo recorrer-se ao molde grande.

Do ensaio compactação (Figuras 52 e 53), a que solo em estudo foi submetido, para determinação do teor em água ótimo, obtiveram-se os resultados constantes da Figura 51.

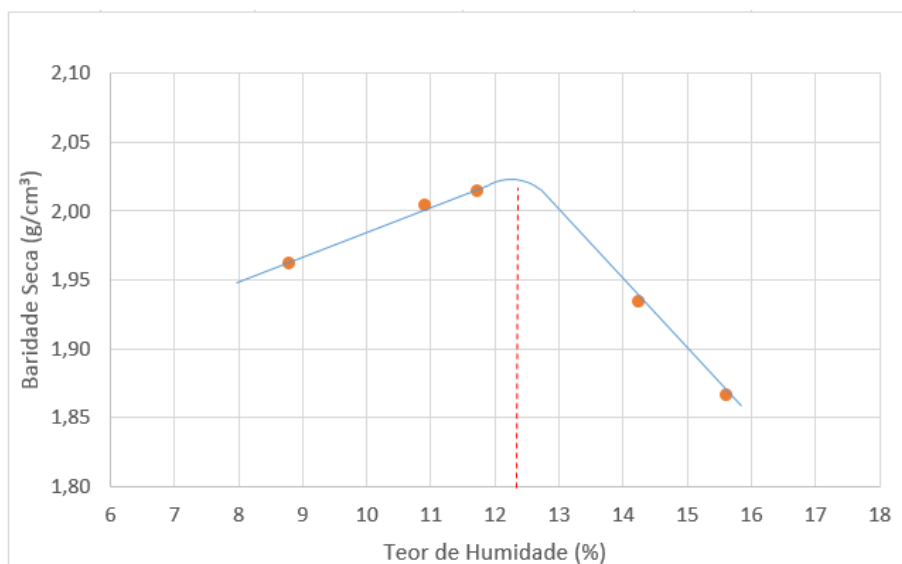


Figura 51 - Apresentação gráfica dos valores obtidos, através do ensaio de compactação.

Segundo o ensaio de compactação, verifica-se que o teor em água ótimo é representado pelo valor de 12,2%, valor que permite obter a compactação máxima do solo, para aquelas condições de energia de compactação.



Figura 53 - Provete realizado com determinado teor em água. (Fonte: a autora)



Figura 52 - Resultado de 5 provetes realizados para determinação do teor em água ótimo. (Fonte: a autora)

### 3.4.9 Difração de Raios-X – Caracterização mineralógica

O princípio teórico da difração de raios-X, definido em 1912 W.L.Bragg, define que os átomos dispostos numa rede tridimensional, nos diferentes cristais, com distâncias reticulares na mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda da radiação X, permitem que um cristal funcione como uma rede de difração de raios-X.

Quando os raios-X atingem o mineral, com comprimentos de onda definidos para a análise de minerais, os feixes resultantes são difratados, contendo informações relativamente aos ângulos e às distâncias, existentes entre os átomos presentes na rede cristalográfica de um mineral, sendo essas informações lidas e processadas pelo equipamento, que calcula as prováveis configurações dos átomos em determinado cristal. Como resultado da difração, obtém-se difratogramas característicos, a partir dos quais é realizada uma análise qualitativa dos compostos mineralógicos identificados, permitindo determinar os teores dos vários compostos presentes em determinada amostra.

São utilizadas 2g de amostra, passada pelo peneiro de malha 0,063mm, que após sofrer uma moagem, com o auxílio de um almofariz, é colocada num porta-amostras específico e levada ao difractómetro, para a realização de leituras.

Após o ensaio de caracterização mineralógica, realizado no laboratório do Hércules, da Universidade de Évora, obteve-se um difratograma, cuja análise permitiu identificar o conjunto de minerais presentes no solo em estudo, sendo relevante a identificação dos mesmos, apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Conjunto de minerais existentes no solo em estudo

<b>Mineral</b>	<b>Grupo do mineral</b>	<b>Percentagem de concentração</b>	<b>Possível origem</b>
Moscovite	Micas	34,04%	Micaxistos/Paragnaisses
Quartzo	Sílicas	20,00%	Micaxistos/Paragnaisses
Ortóclase	Feldspatos	13,16%	Gnaisses
Horneblenda	Anfíbolas	10,22%	Anfibolitos
Albite	Feldspatos	9,42%	Gnaisse
Flogopite	Micas	6,19%	Micaxistos
Clinocloro	Clorite (Micas)	4,01%	Micaxistos
Fe-glaucofano	Anfíbolas	2,48%	Xistos azuis/Eclogites
Actinolite	Anfíbolas	0,48%	Anfibolitos

É possível concluir-se que a maioria dos minerais existentes na amostra de solo, da classe dos silicatos, são constituintes das rochas pré-existentes na zona, identificadas através da Carta Geológica 35D – Montemor-o-Novo, possuindo características análogas a da rocha-mãe, uma vez que resultam da sua meteorização. São ainda registadas a presença de anfíbolas, com possibilidade de origem em Xistos azuis, Eclogites ou Anfibolitos, rochas conhecidas por existirem na zona de Montemor-o-Novo, caracterizadas como rochas metamórficas, sendo as duas primeiras formadas através de processos de metamorfismo regional de alta pressão, levando a que os minerais constituintes das mesmas sejam nomeados como minerais de alta pressão.

Após a realização dos ensaios de caracterização ao solo, e com base nos resultados obtidos, relativamente às características do mesmo, foi possível defini-lo como um material capaz de ser utilizado no fabrico de BTC's.



### 3.5 Adições

Para além da produção de blocos sem adições, foram ainda realizados blocos com incorporação de diferentes tipos de adições, com o intuito de se comparar os valores obtidos entre cada tipo, relativamente à resistência à compressão e absorção de água por capilaridade.

Foram assim escolhidas uma série de adições, onde para cada uma delas, foram realizados 3 grupos de blocos, com teores de adição diferentes, tendo sido as adições selecionadas:

- Cimento Portland CEM I 42,5R – cimento essencialmente constituído por clínquer sem adições, com facilidade em obter uma resistência muito elevada aos primeiros dias após aplicação. (Dimensão de partículas inferior a  $0,075 \text{ mm}^6$ , segundo Azevedo, 2002).
- Cal Aérea Hidratada CL90 – resultante da extinção da cal viva, formada após a cozedura de calcários, é um ligante que endurece lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono, constituído por mais de 99% de carbonatos, sendo a designação CL referente à sua constituição, principalmente em óxidos de cálcio ou hidróxidos de cálcio, nomeando-a como “Cal Cálca”. (Dimensão de partículas inferior a  $0,2 \text{ mm}^7$ , segundo Lima, et al.,2016)
- Cinzas Volantes – sub-produto resultante da queima do carvão em centrais elétricas, maioritariamente constituídas por dióxido de silício, óxido de alumínio e óxido de ferro, frequentemente utilizados como aditivo em argamassas e betões, aumentando a resistência dos mesmos de 10-15%, relativamente a betões comuns. (Dimensão de partículas inferior a  $0,15 \text{ mm}^7$ , segundo Azevedo, 2002)
- Pó de Mármore – resíduo resultante do corte e polimento de rochas ornamentais carbonatadas, neste caso específico o mármore, sendo o mesmo constituído essencialmente por carbonato de cálcio. (Dimensão de partículas inferior a  $0,04 \text{ mm}^7$ , segundo Martins,1996);

As adições escolhidas, foram-no pelos seguintes motivos:

- O cimento e a cal aérea são ligantes correntemente utilizados e podem trazer melhorias na capacidade resistente dos blocos, pelo que se considerou conveniente a sua

---

<sup>6</sup> Muito embora, no âmbito deste trabalho não tenha sido realizada análise granulométrica das adições usados, e tendo em conta que a granulometria destes materiais varia com o seu produtor, no sentido de elucidar sobre este aspeto, apresenta-se um valor de referência, para cada um dos tipos de adições, determinado por outros autores.

escolha, muito embora a cura poderá alterar outras características da amostra como é o caso, por exemplo, da retração. Além disso, são adições que já foram utilizados em outros trabalhos de investigação semelhantes.

- As cinzas volantes, por se tratar de um material utilizado comumente na produção de argamassas e betões, que devido às suas propriedades pozolânicas poderá melhorar as suas capacidades resistentes.
- O pó de mármore, a título experimental, à semelhança de outras investigações, com o intuito do reaproveitamento deste resíduo, empregando-o em outras aplicações, tendo em conta a finura da sua granulometria (à semelhança do que acontece com as outras adições consideradas) que poderá ser vantajosa na mistura com o solo, no sentido da diminuição dos vazios.

---

# Capítulo 4

## Metodología

---



## 4.1 Formulação das misturas

Após a realização dos ensaios de caracterização do solo e a seleção das adições a utilizar, procedeu-se à produção dos BTC's, tendo sido toda esta fase realizada nas Oficinas do Convento, em Montemor-o-Novo.

As dosagens consideradas para as diferentes composições, basearam-se em pesquisa prévia, sobre a informação disponível relativa a tratamento de solos<sup>7</sup>, nomeadamente quando as adições utilizadas são a cal ou o cimento, ligantes comuns utilizados em testes semelhantes. Para as restantes adições, as percentagens a utilizar foram as mesmas, por forma a garantir um termo de comparação.

Após a definição das composições, e tendo em conta a necessidade de produzir um total de 143 blocos, com dimensão de 29,5x14x9,5 cm<sup>3</sup>, correspondendo a 7,5kg cada um, determinaram-se as proporções dos diversos componentes de cada formulação da mistura, de modo a definir as quantidades de solo, adição e água a introduzir na betoneira, para a fabricação de cada tipo de mistura. Cada amassadura correspondia à fabricação de um grupo de 11 blocos.

Na definição da formulação, por ser mais prático, tomou-se sempre como base 85kg de solo, aos quais se adicionou a quantidade de adição necessária à realização das misturas, em que a adição representava 7%, 10% e 13% da mistura. Assim, para misturas com 7%, 10% e 13% de adição incorporada, o peso da mesma correspondia, respetivamente, a 6kg, 8,5kg e 11,1kg. Esta informação apresenta-se resumida na Tabela 19.

Tabela 19 - Proporção dos elementos sólidos, integrantes da mistura, a utilizar para a produção de BTC's,

	<b>Formulação das misturas</b>			
<b>Componentes</b>	Composição base (solo sem adições)	Solo + 7 % de adição	Solo + 10 % de adição	Solo + 13% de adição
Solo (kg)	85	85	85	85
Adição (kg)	0	6,0	8,5	11,1

<sup>7</sup> A título de exemplo, o grupo CRATerre recomenda a utilização de percentagens de cimento e cal entre os 6-12%, na estabilização de solos para construção em terra (Houben & Guillaud, 1989: 90-97).

## 4.2 Preparação da mistura

Após o tratamento do solo e a formulação das misturas, o passo seguinte tratou-se da produção dos blocos, realizados em Montemor, com o recurso de uma prensa manual. A mistura realizou-se com o auxílio de uma betoneira<sup>8</sup>, adicionando-se o solo seguido da incorporação da quantidade de adição correspondente ao teor pretendido e após a total homogeneização dos materiais secos foi adicionada água, lentamente, utilizando-se um aspersor de inseticida (Figura 54), a fim de evitar a formação de grumos durante a amassadura que, conseqüentemente, iriam diminuir a qualidade dos blocos.

A quantidade de água determinada, após a obtenção do teor em água ótimo, através do ensaio de Proctor, não correspondeu à quantidade real de água utilizada na amassadura, tendo havido uma redução de sensivelmente 50% de água adicionada, relativamente ao valor obtido através do ensaio. Esta diferença deve-se a dois aspetos:

- O facto de ter havido uma preparação prévia do solo, antes do ensaio de Proctor (segundo as normas de preparação de solos para ensaios geotécnicos), que implica a sua secagem ao ar. Tal situação leva a que a adição de água no ensaio Proctor seja necessariamente superior à adição de água no solo, aquando da fabricação dos provetes, dado que este se encontrava próximo do seu estado de humidade natural (tinha já alguma água incorporada);
- A energia de compactação do ensaio Proctor é distinta da energia de compactação da prensa manual utilizada na fabricação dos provetes. Deste modo o teor ótimo correspondente à baridade máxima obtida para a compactação Proctor é diferente do teor ótimo necessário à obtenção da baridade máxima do provete compactado com a prensa manual usada.

Caso se tivessem utilizado os valores correspondentes ao teor ótimo obtido pela realização do ensaio Proctor, os valores de água adicionados, para as diferentes misturas, seriam as constantes da Tabela 20:

---

<sup>8</sup> Segundo o grupo CRATerre, é aconselhada a utilização de uma misturadora com um motor mais potente do que o utilizado em uma betoneira, uma vez que a mesma pode provocar a formação de grumos durante a mistura, diminuindo a qualidade dos blocos produzidos. Contudo, por falta de outro tipo de misturadora, e por se tratar que grandes quantidades, recorreu-se à utilização da betoneira para a realização da mistura.

Tabela 20 – Teor ótimo de água a utilizar, segundo o ensaio de compactação Proctor

	<b>Formulação das misturas</b>			
<b>Componentes</b>	Composição base (solo sem adições)	Solo + 7 % de adição	Solo + 10 % de adição	Solo + 13% de adição
Água (L)	10,4	11,1	11,4	11,7

Aquando da fabricação dos provetes e no sentido de otimizar a quantidade de água adicionada, utilizou-se um procedimento expedito. Após a soma sucessiva de pequenas quantidades de água durante a amassadura, constatou-se que a melhor adesão do solo, foi obtida sem haver a necessidade da utilização total do valor correspondente ao teor ótimo de água, facto verificado quando se torna visível a marca dos dedos, numa pequena quantidade de mistura, após esta ser apertada com a mão (Figura 55), estando compactada o suficiente para que se consiga partir ao meio, sem se desfazer ou sem que sofra uma deformação provocada pelos dedos, no momento da realização da ação, correspondendo este facto, respetivamente, à insuficiente ou excessiva quantidade de água introduzida na mistura.

Caso contrário, utilizando o valor referente ao teor ótimo de água, a mistura ultrapassaria o ponto “ótimo” de adesão, aumentando o tempo de cura dos blocos e diminuindo a qualidade dos mesmos.

Tendo em conta a metodologia de humedecimento da mistura, bem como os utensílios de aspersão utilizados e o teor real de água do solo, não foi possível determinar com rigor, o valor de água constante da mistura.



Figura 54 - Adição de água com auxílio de um aspersor. (Fonte: a autora)



Figura 55 - Forma expedita de se verificar o ponto "ótimo" de adesão do solo. (Fonte: a autora)

A este propósito, segundo Pinto (2006), referido por Lima (2013), na compactação, a quantidade de partículas de solo e água permanecem constantes e o aumento da massa específica<sup>9</sup> corresponde à eliminação do número de vazios, proporcionando o aumento da resistência. Quando o solo se encontra com um teor de humidade acima do ótimo, a aplicação de maior energia de compactação não consegue provocar, ou provoca pouco, o aumento da massa específica, por não conseguir reduzir o número de vazios.

---

<sup>9</sup> Massa específica – massa das partículas ocupada por unidade de volume, depois de excluídos os vazios.



Apesar de Jalali et.al(2009), referir que relativamente à quantidade de água a utilizar nas misturas de solo-cimento a mesma ser determinada através do ensaio de compactação Proctor, segundo Nunes (2013) citando o grupo CRAterre, para a determinação do teor em água ótimo, é recomendada a utilização da própria prensa, através da variação de quantidades de água em pequenas parcelas de solo, pesando-se e obtendo-se as dimensões do bloco prensado, com o intuito de se obter o valor referente ao teor em água ótimo, responsável pela produção de BTC's de qualidade.

### 4.3 Prensagem

Após a preparação da mistura, procedeu-se à sua prensagem, com o auxílio de uma prensa manual TERSTARAM da Appro-Techno (Figura 56).



Figura 56 – Prensa utilizada para a produção dos BTC's  
(Fonte: a autora)

Preencheu-se o molde da prensa com a mistura produzida, tendo-se sempre o cuidado de pressionar os cantos do mesmo, afim de garantir que não existem espaços vazios na face inferior do molde (Figura 57). Após esta primeira pressão, completa-se o preenchimento do molde, finalizando-se o processo com o nivelamento da mistura, garantindo que não exista mais material que o necessário para a realização da prensagem (Figura 58).



Figura 57 – Pressão sobre os cantos do molde. (Fonte: a autora)



Figura 58 - Nivelamento do material no molde da prensa. (Fonte: a autora)

Após a prensagem (Figura 59), o bloco é retirado da prensa, com o máximo de cuidado possível, sendo as faces maiores assentes sobre as palmas das mãos, sem que haja qualquer tipo de contacto com as arestas do mesmo, uma vez que se trata das zonas mais frágeis, sendo assim transportados e colocados sobre paletes de madeira (Figura 59). O procedimento foi realizado até se totalizar o número de blocos por grupo, limpando-se a betoneira e realizando-se a produção de um outro grupo de blocos.



Figura 59 - Bloco acabado de ser prensado. (Fonte: a autora)



Figura 60 - Blocos distribuídos sobre paleta de madeira. (Fonte: a autora)

Tratando-se de uma prensa manual, há o inconveniente de a força aplicada pelos operadores não ser igual, quando se inicia um ciclo de produção de blocos e quando se termina o mesmo, uma vez que a força exercida para a prensagem, acaba por causar um desgaste físico no operador, diminuindo a qualidade da prensagem. Optou-se pela realização dos blocos em dias separados, para não comprometer a produção, e sempre produzidos pelos mesmos 2 operadores, de maneira a minimizar as eventuais variações na pressão aplicada, durante os diversos ciclos de produção (Tabela 21).

Tabela 21 - Cronograma referente à produção diária de BTC's.

	<b>Dia 1</b>	<b>Dia 2</b>	<b>Dia 3</b>	<b>Dia 4</b>
<b>Produção diária</b>	11 blocos sem adições	11 blocos Pó de Mármore 7% (P.M. 7%)	11 blocos Cinzas Volantes 7% (C.V. 7%)	11 blocos Cimento 7% (Cim. 7%)
	11 blocos Cal aérea 7% (Cal 7%)	11 blocos Pó de Mármore 10% (P.M. 10%)	11 blocos Cinzas Volantes 10% (C.V. 10%)	11 blocos Cimento 10% (Cim. 10%)
	11 blocos Cal aérea 10% (Cal 10)	11 blocos Pó de Mármore 13% (P.M. 13%)	11 blocos Cinzas Volantes 13% (C.V. 13)	11 blocos Cimento 13% (Cim. 13%)
	11 blocos Cal aérea 13% (Cal 13%)			
<b>Produção diária:</b>	44 blocos	33 blocos	33 blocos	33 blocos
<b>Produção total</b>	143 blocos			

## 4.4 Cura

Para que fosse possível a obtenção de um produto final que apresentasse as melhores propriedades, houve a necessidade de cuidar o processo de cura, pelo qual os blocos produzidos passaram.

Para que os blocos estabilizados com cal aérea e cimento, pudessem atingir a sua máxima resistência mecânica, foi necessário que estes sofressem um processo de cura em duas fases: a cura húmida e a cura seca. Imediatamente após a prensagem dos blocos, os mesmos iniciaram o processo de cura húmida, que se prolongou durante 7 dias, como o recomendado na norma Colombiana “NTC 5324” e na norma Australiana “CSIRO 5 Earth-wall construction”, reportando-se a blocos de terra compactada, quando estabilizados com cimento. Tratando-se a cal de uma adição do mesmo tipo que o cimento - adições do Tipo II (hidráulicas latentes) -, optou-se pela realização do seu processo de cura, dentro das mesmas condições que os blocos estabilizados com cimento.

Esta cura permitirá que a presa do ligante contido na mistura, ocorra lentamente a fim de se evitar que a mesma só ocorra na face exterior do bloco, aumentando conseqüentemente a sua fragilidade. Para esse efeito, os blocos produzidos com estes tipos de adições, foram tapados com uma lona de plástico, com o objetivo de ajudar a manter um teor de humidade satisfatório, não permitindo uma rápida evaporação da água existente nos blocos, que levaria ao surgimento de fissuras e conseqüente diminuição da qualidade dos blocos.

Terminada essa primeira semana, foi retirada a lona de plástico, para que houvesse a continuidade do processo através da cura seca, até à altura determinada para a realização dos ensaios de caracterização dos blocos.

Quanto aos blocos sem incorporação de adições, aqueles com adição de pó de mármore e os com cinzas volantes, estes sofreram uma cura seca, estando expostos ao ar desde o momento da prensagem, sem que houvesse a mesma preocupação referida anteriormente, por se tratarem de blocos sem/com a incorporação de adições não ligantes e conseqüentemente sem que houvesse a necessidade de uma cura húmida por parte das mesmas, tratando-se estes de blocos mais estáveis a nível químico.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> O pó de mármore e as cinzas volantes encaixam-se na categoria das adições do Tipo I, tratando-se assim de materiais quase inertes, onde as reações químicas existentes, não serão de grande expressão.

Na fase inicial do processo de cura, os blocos encontravam-se ao ar livre, protegidos da incidência do sol, mas suscetíveis às temperaturas elevadas que se faziam sentir, optando-se pela transferência dos mesmos (Figura 61), ao fim de uma semana, para o Laboratório de Engenharia Civil, situado no Pólo da Mitra, da Universidade de Évora.

Sendo este um ambiente mais favorável ao processo de cura, uma vez que os blocos se encontravam num meio mais estável, sem a incidência de sol e de vento e sem sofrerem com as grandes variações de temperatura, que se faziam sentir na época (julho), permaneceram nessas condições até à data prevista para a execução dos ensaios de caracterização dos mesmos, sem se encontrarem empilhados, com o objetivo de não sobrecarregar os blocos que se encontrariam na fiada inferior, e com espaço entre si para a circulação de ar (Figura 62).

Tendo em conta a experiência da empresa, que disponibilizou a prensa para a realização deste estudo, em particular a experiência do Arq. Nuno Grenha, dependendo do tipo de adição utilizado, existem casos onde ao fim de 3 semanas, após a sua produção, os elementos já apresentam condições suficientes para serem aplicados em obra<sup>11</sup>. Contudo, por uma questão de precaução e de salvaguarda do produto, a cura do mesmo, é prolongada por mais 1 semana, até à sua aplicação em obra.



Figura 61 - Transporte dos blocos.  
(Fonte: a autora)



Figura 62 - Disposição dos blocos durante o processo de cura.  
(Fonte: a autora)

---

<sup>11</sup> A título de exemplo, a utilização de cal para a estabilização de solo, iria requerer um tempo de cura superior, até à aplicação dos blocos em obra, derivado do lento ganho de resistência que a cal tem.

## **4.5 Ensaio de caracterização dos BTC**

É importante a realização de uma análise da resistência e comportamento das construções em terra, através da realização de protótipos. Testes realizados antes do início da obra, permitem verificar e garantir o cumprimento dos requisitos definidos em projeto, assim como ao longo do processo de construção, com o objetivo de garantir que a qualidade pretendida se mantenha constante durante o período de vida útil do edificado.

### **Ensaio de caracterização física**

#### **4.5.1 Ensaio de absorção de água por capilaridade**

O ensaio de absorção de água permite determinar a capacidade que o material tem em reter água, segundo a diferença entre a massa seca e a massa húmida dos blocos. A absorção por capilaridade é um dos principais mecanismos utilizados pela água para penetrar através do material. Os fenómenos de absorção são causados pela chuva de modo cíclico ou por ascensão capilar da água do solo.

Adaptado com o especificado pela norma NTC 5324 e pela norma NBR 8491-1984, após a cura dos blocos, os mesmos são levados à estufa, a uma temperatura de 60°C, durante 3 dias, período necessário para atingir as condições de massa constante, permitindo determinar assim o valor da massa seca dos blocos. Os blocos são envolvidos em película de polietileno, deixando as faces inferiores e superiores livres, sendo minimizada a evaporação lateral e garantindo a ascensão unidirecional da água durante o ensaio. Na face inferior do bloco é envolvido um tecido fino abraçado com um elástico, à altura de 1 cm, com a finalidade de que não haja a perda de material durante o ensaio. Os provetes são pesados e em seguida colocados em um recipiente com água, onde a mesma não deve ultrapassar a marca do elástico. São realizadas pesagens aos provetes, ao fim de 5, 10, 15, 30, 60 minutos, de hora a hora, até fazer 7 horas, 24 horas após o início do ensaio e para finalizar, 48 horas após o início do mesmo.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Segundo a norma NTC 5324, não é especificado quanto tempo o ensaio deve durar, contudo as 48 horas deste foram definidas segundo o verificado em estudos análogos, bem como por condicionalismo de utilização do laboratório.

Após a finalização do ensaio, foi possível determinar a capacidade de absorção de água, pelo provete, através da diferença percentual entre a massa húmida e a massa seca, calculando o coeficiente de absorção capilar, como referido na norma Colombiana (Equação 6), que corresponde em percentagem, à capacidade que o provete tem em absorver água, a percentagem de água absorvida pelo mesmo, como referido na norma Brasileira (Equação 7). Com base nos resultados obtidos ao longo da realização do ensaio, foi elaborada a curva de capilaridade dos provetes (Equação 8).

$$Cb = \frac{100 * m}{S * \sqrt{t}} \quad \text{(Equação 6)}$$

Cb (%) – Coeficiente de absorção

m (g) – massa da água

S (cm<sup>2</sup>) – área da secção

t (minutos) – duração da imersão

$$A(\%) = \frac{(m2 - m1)}{m1} * 100 \quad \text{(Equação 7)}$$

A (%) – percentagem de água absorvida

M1 – massa seca do provete

M2 – massa saturada do provete

$$Capilaridade(g/cm^2) = \frac{m}{S} \quad \text{(Equação 8)}$$

m (g) – massa da água

S (cm<sup>2</sup>) – área da secção

## Ensaio de caracterização mecânica

### 4.5.2 Resistência à compressão

Do ponto de vista da resistência, a análise mais relevante, realizada em provetes é a resistência à compressão oferecida pelos mesmos, onde este ensaio consiste na colocação do provete entre dois pratos de uma prensa, sendo aplicada uma força constante, até a rutura do mesmo.

Estes ensaios podem ser realizados através da variação de força e controlo da deformação, ou aplicação de intervalos de deslocamentos, e medição da carga correspondente à carga máxima suportada pelo provete.

Realizado segundo a norma EN 772-1, 2002 – “Determinação da resistência à compressão”, que propõe a utilização de pelo menos 6 provetes para cada ensaio, ou no caso de os blocos de alvenaria terem grandes dimensões é permitida a utilização de porções representativas obtidas por corte, e a aplicação de carga em controlo de força. A aplicação de carga em controlo de deslocamento possibilita observar o comportamento do bloco depois de atingida a carga máxima, ou seja, o seu comportamento pós pico, de forma mais evidente.

Os provetes são medidos e colocados sobre o prato da máquina, na mesma posição que seriam colocados em obra, sendo alinhados cuidadosamente com o centro do prato, garantindo sempre que as superfícies dos pratos estejam limpas de partículas e dá-se início ao ensaio aplicando uma força uniformemente distribuída no bloco, que vai aumentando continuamente até à sua rutura.

Após a realização do ensaio, é calculada a tensão máxima individual suportada pelos provetes (Equação 9), utilizando o valor individual da força máxima aplicada nos mesmos e a área total carregada do provete, conhecida como área bruta de superfície (comprimento x largura).

$$f_c \text{ (MPa)} = 10 \times \frac{f_{rup}}{A} \quad \text{(Equação 9)}$$

$F_c$  – Valor da resistência à compressão

$f_{rup}$  (kN) – Carga suportada pelo provete até à rutura

$A$  (cm<sup>2</sup>) – área da secção



---

# Capítulo 5

## Resultados e respetiva análise

---

## **5.1 Ensaio de caracterização do BTC**

Há que ter em atenção, que a variabilidade dos resultados obtidos entre cada provete testado, está relacionada em grande parte com todo o processo de fabrico dos blocos, por se tratar de um processo manual, como anteriormente referido nesta dissertação, não se considera tão fiável e existe uma maior possibilidade de ocorrência de erros.

### **5.1.1 Ensaio de absorção de água por capilaridade**

#### **Provetes sem adições**

Os resultados obtidos encontram-se apresentados de forma sucinta na Figura 63 e Figura 64, nos termos do coeficiente de absorção e da absorção de água, por parte dos provetes sem adições.

Observa-se que em um dos provetes, existe um comportamento diferenciado relativamente aos outros dois, ao minuto 120, verificando-se um aumento da absorção de água, acompanhado da expulsão da mesma, constatado na leitura seguinte.

A existência de um provete com um comportamento anómalo, pode ser explicada pela possibilidade de, como já foi referido anteriormente, existirem erros associados ao método de produção manual de BTC's, contudo trata-se de uma situação que não é possível comprovar.

Durante o ensaio verificou-se que, uma hora após o início do mesmo, a face superior dos provetes já se encontrava totalmente húmida, enquanto que nas faces em contacto com a água já era possível verificar-se que as mesmas tinham perdido resistência e inclusive algum material. Ao fim de quatro horas, os provetes já não apresentavam qualquer tipo de resistência, tendo inclusive sofrido uma alteração da sua geometria inicial. Até ao fim do ensaio não foi verificado outro tipo de alterações significativas.

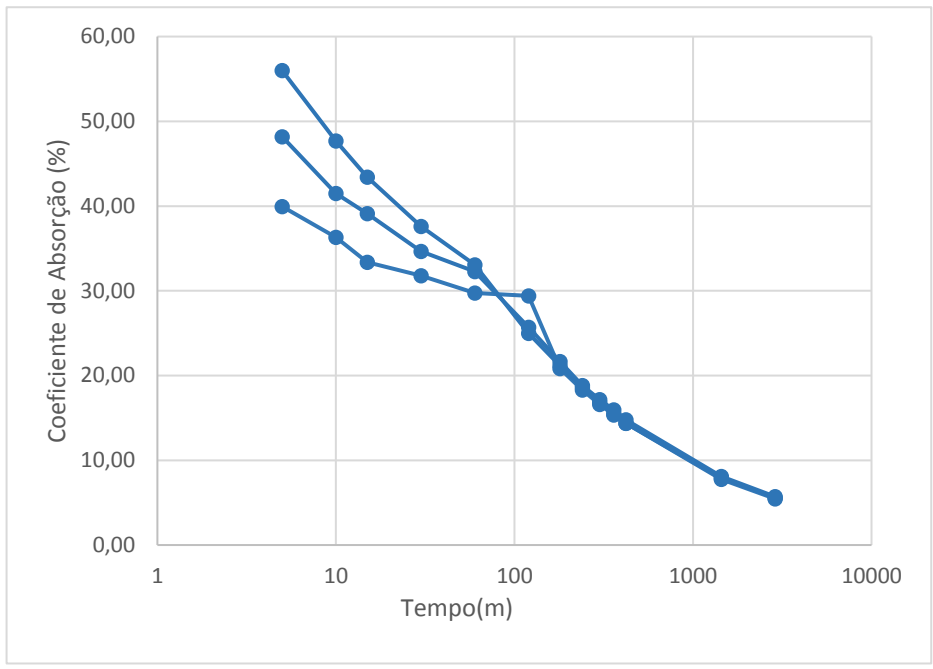


Figura 63 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes sem adições.

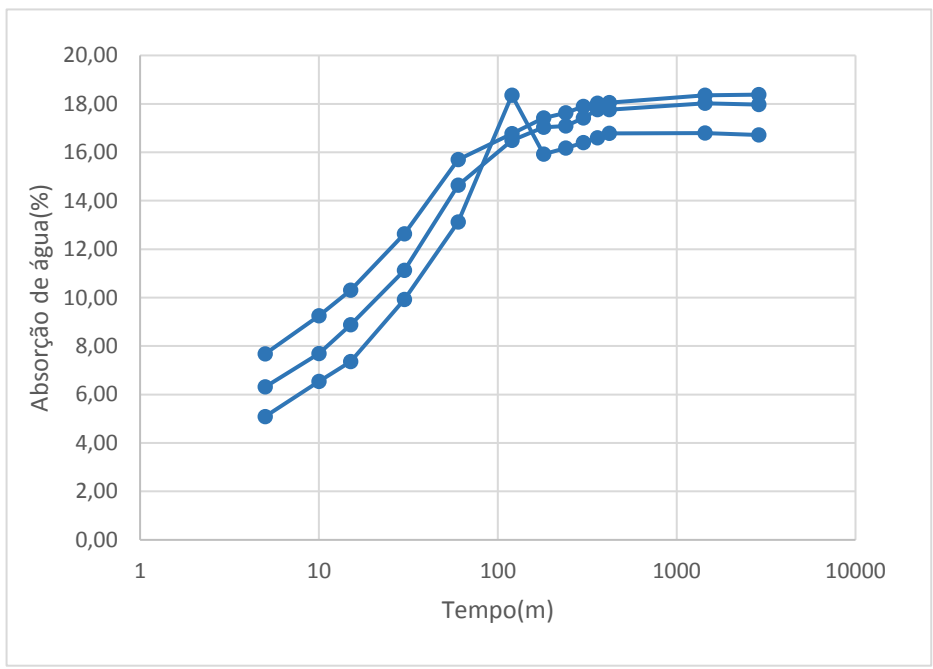


Figura 64 - Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes sem adições.

### **Provetes com adição de Cal Aérea**

Os resultados obtidos encontram-se apresentados de forma sucinta na Figura 65 e Figura 66, nos termos do coeficiente de absorção e da absorção de água, por parte dos provetes com incorporação de diferentes teores de cal aérea.

Verifica-se que os provetes com 7% de cal adicionada, são os que apresentam o pior comportamento face à sua apetência para a absorção de água, muito embora após a primeira leitura verificou-se que estes registavam uma capacidade de absorção superior à apresentada pelos restantes provetes, para os diferentes teores de cal aérea adicionada.

Após uma hora de ensaio, verificou-se que o valor referente aos provetes com 7% de cal adicionada, refletem valores de absorção próximos aos verificados, na fase final de ensaio, nos provetes com maiores percentagens incorporadas desta adição.

Os provetes com 10% e 13% de cal adicionada, apresentam comportamentos semelhantes ao longo do ensaio, verificando-se o aumento constante das suas capacidades de absorção até aos primeiros quinze minutos, tempo após o qual, se verifica que ambos mantêm um comportamento similar, embora inverso, decrescendo a partir do minuto seguinte, sendo que no final do ensaio os provetes com 10% de cal adicionada refletem os melhores resultados.

No final do ensaio, todos os provetes com adição de cal, apresentavam resistência ao toque, tendo só sido possível observar de uma forma expedita, na face superior dos provetes, a maior ou menor evidência de humedecimento.

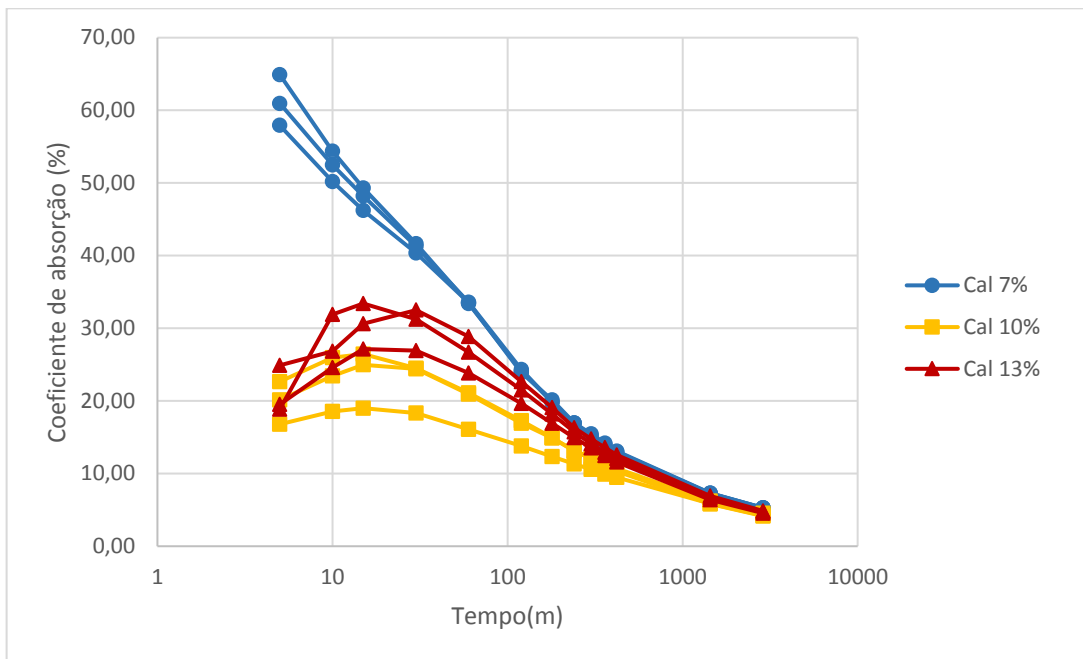


Figura 65 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de cal aérea.

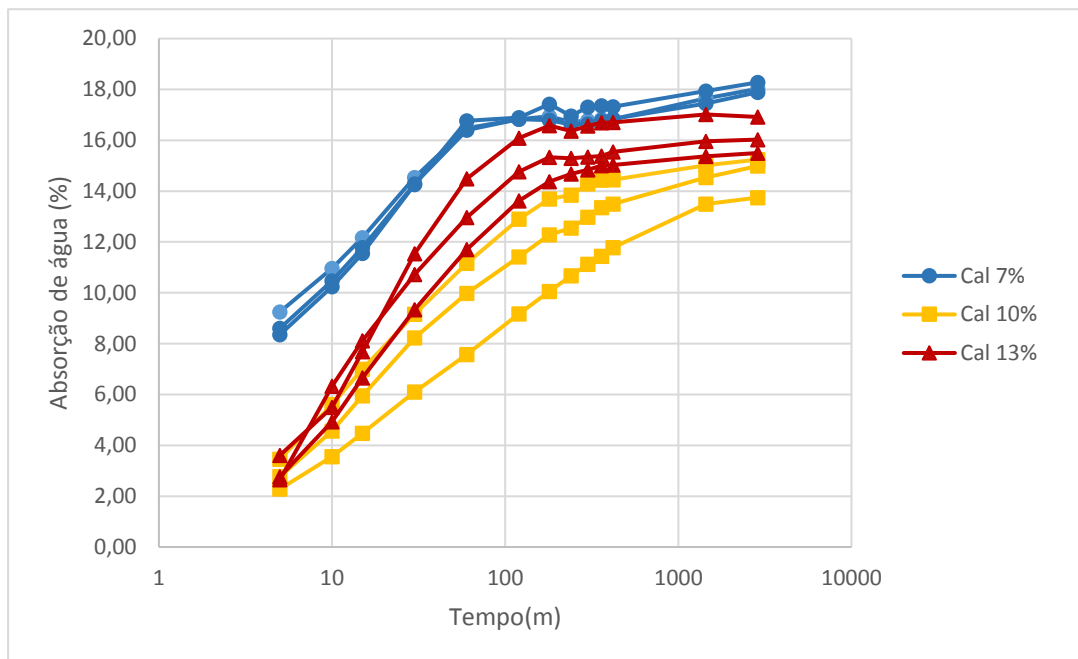


Figura 66 -Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes com adição de cal aérea.

### **Provetes com adição de Cimento**

Os resultados obtidos encontram-se apresentados de forma sucinta na Figura 67 e Figura 68, nos termos do coeficiente de absorção e da absorção de água, por parte dos provetes com incorporação de diferentes teores de cimento.

Sendo os provetes com 13% de adição de cimento, aqueles que apresentam um melhor comportamento, relativamente à menor absorção de água durante o ensaio, após a primeira pesagem verifica-se que os mesmos iniciaram o ensaio com o menor valor referente à sua capacidade de absorção. Contudo, ao verificar-se que para qualquer tipo de provetes testados, com percentagens de cimento distintas, no final do ensaio o coeficiente de absorção é semelhante, demonstrando que os provetes com 13% de cimento adicionado, para além de terem uma capacidade de absorção inferior, também absorvem a água mais lentamente.

Os provetes com 7% e 10% de cimento adicionado, apresentam um comportamento semelhante ao longo do ensaio, sendo fácil de constatar que no início, estes exibem os valores mais elevados relativamente ao coeficiente de absorção, sofrendo um decréscimo mais acentuado ao fim de duas horas, verificando-se assim a aproximação da estabilização.

Após a finalização do ensaio, os provetes com adição de cimento, apresentavam ainda uma grande capacidade de resistência.

Nagarai et al. (2014), verificaram que para provetes com 8% de cimento incorporado, as absorções de água são inferiores a 15%, coincidindo, neste caso, com os valores dos provetes testados com diferentes teores de cimento, todos eles com percentagens de absorção de água inferiores a 15%.

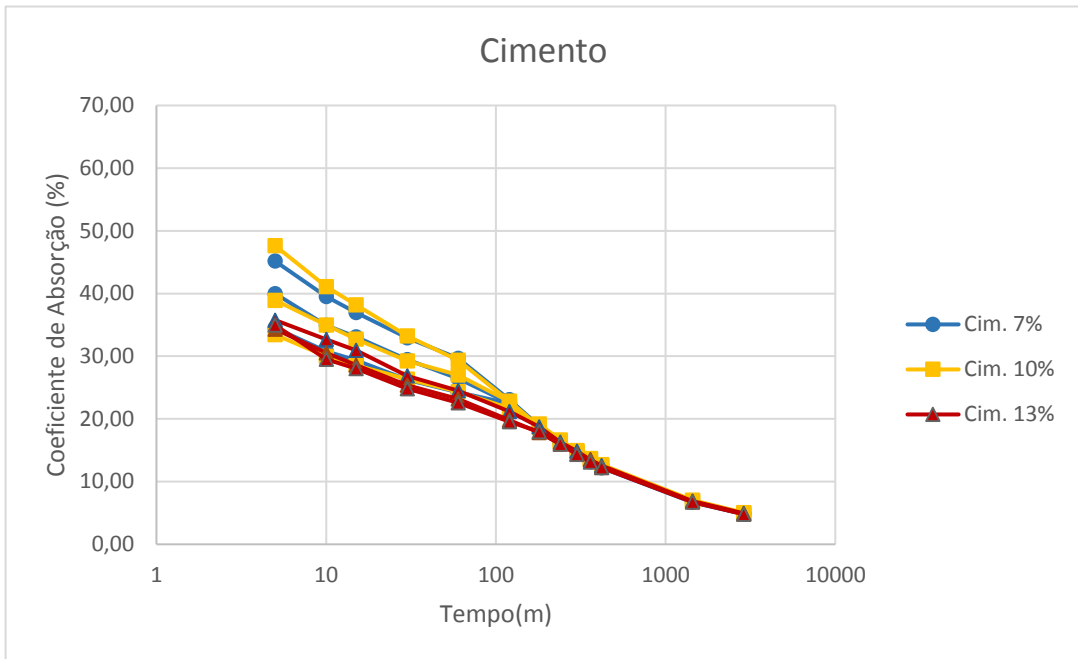


Figura 67 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de cimento.

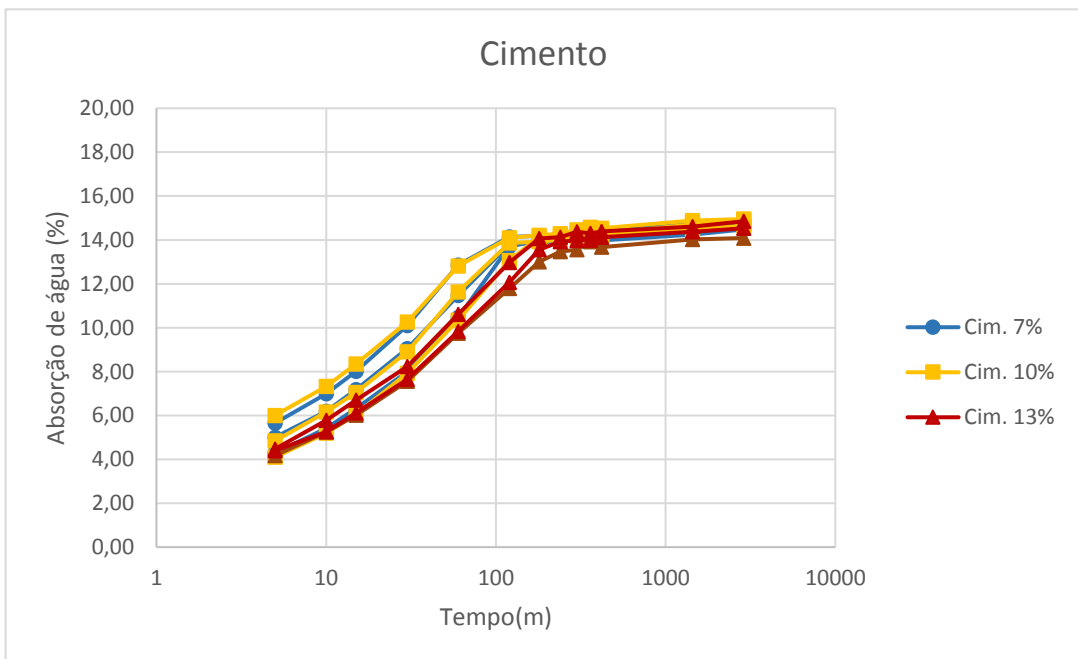


Figura 68 - Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes com adição de cimento.

## **Provetes com adição de Cinzas Volantes**

Os resultados obtidos encontram-se apresentados de forma sucinta na Figura 69 e Figura 70, nos termos do coeficiente de absorção e da absorção de água, por parte dos provetes com incorporação de diferentes teores de cinzas volantes.

Havendo uma proximidade quanto ao valor inicial determinado, relativamente ao coeficiente de absorção, nos provetes testados com adição de cinzas volantes, bem como um comportamento semelhante ao longo do decorrer do ensaio, verifica-se ao minuto 120, um decréscimo mais acentuado do coeficiente de absorção, em todos os provetes testados, e consequente decréscimo da percentagem de absorção de água.

Os provetes com 10% de adição de cinzas volantes, apresentam o pior comportamento comparativamente aos restantes provetes, com diferentes teores deste tipo de adição.

Quando comparando o seu comportamento com os provetes estabilizados com cimento, verificou-se que, ao fim de duas horas, estes já apresentavam uma quantidade de água absorvida semelhante ao valor registado no fim do ensaio pelos provetes com adição de cimento, terminando o teste com uma percentagem de água absorvida de aproximadamente 18%.

Durante a realização do ensaio, verificou-se que ao fim de duas horas, os provetes com adição de cinzas volantes, começaram a perder resistência na face em contacto com a água, contudo, até ao fim do ensaio não foi verificado outro tipo de alterações significativas.



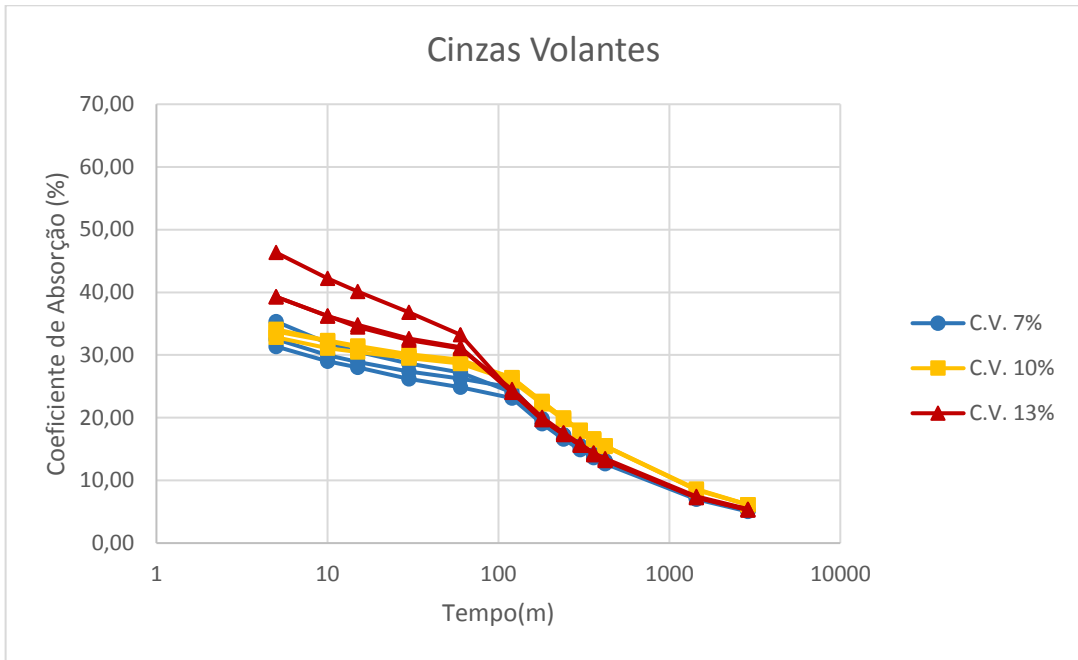


Figura 69 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de cinzas volantes.

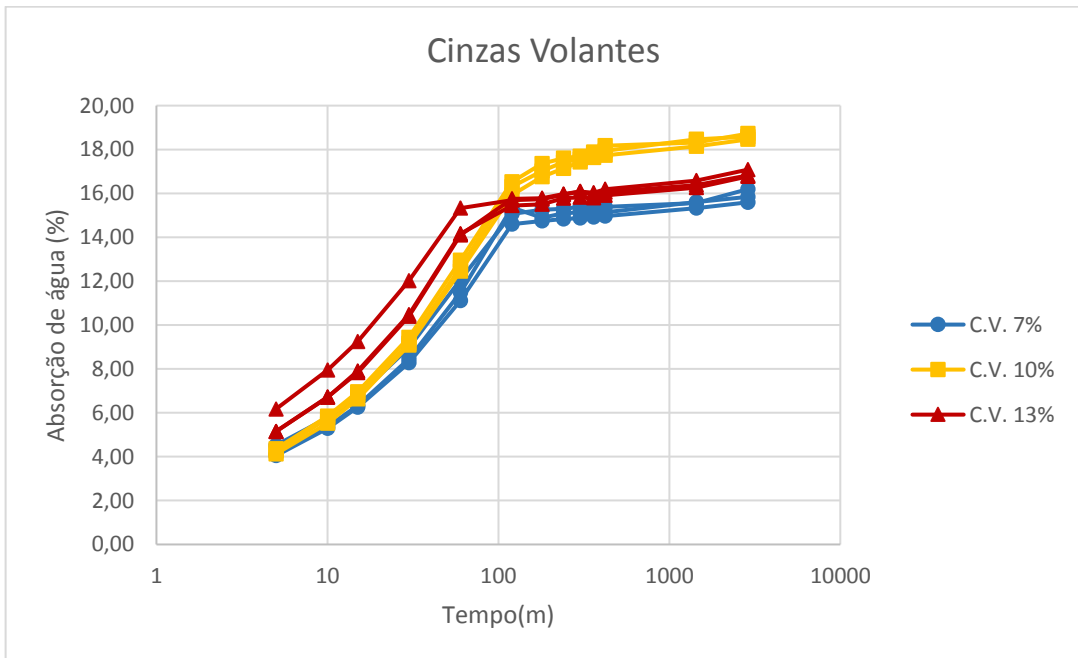


Figura 70 - Apresentação gráfica dos valores referentes à absorção de água, em provetes com adição de cinzas volantes

### **Provetes com adição de Pó de Mármore**

Os resultados obtidos encontram-se apresentados de forma sucinta na Figura 71 e Figura 72, nos termos do coeficiente de absorção e da absorção de água, por parte dos provetes com incorporação de diferentes teores de pó de mármore.

Os provetes com 13% de adição de pó de mármore, refletem o melhor comportamento, com um coeficiente de absorção inferior, no início e no fim do ensaio, relativamente aos provetes com 7% e 10% de pó de mármore incorporado. Observou-se um comportamento semelhante ao longo do ensaio, entre os provetes testados, com diferentes teores de adição, verificando-se um decréscimo mais acentuado do coeficiente de absorção, a partir dos sessenta minutos.

Ao fim de trinta minutos verificou-se, que os provetes com adição de pó de mármore, já não apresentavam resistência na face em contacto com a água, tendo as percentagens de absorção valores, em média, entre os 8% e os 10%.

Ao fim de duas horas, os provetes com 7% e 10% de adição, já não apresentavam resistência ao toque na face superior. Finalizado o ensaio, todos os provetes deste tipo, independentemente do teor que tinham incorporado, apresentavam alterações relativamente à sua geometria inicial.

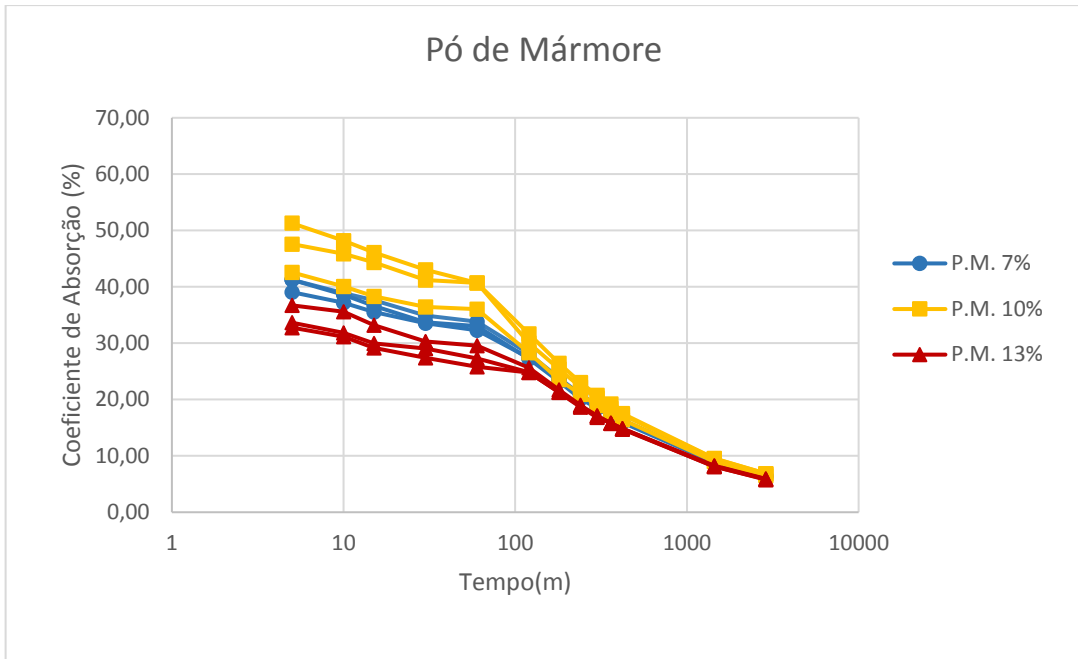


Figura 71 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de pó de mármore

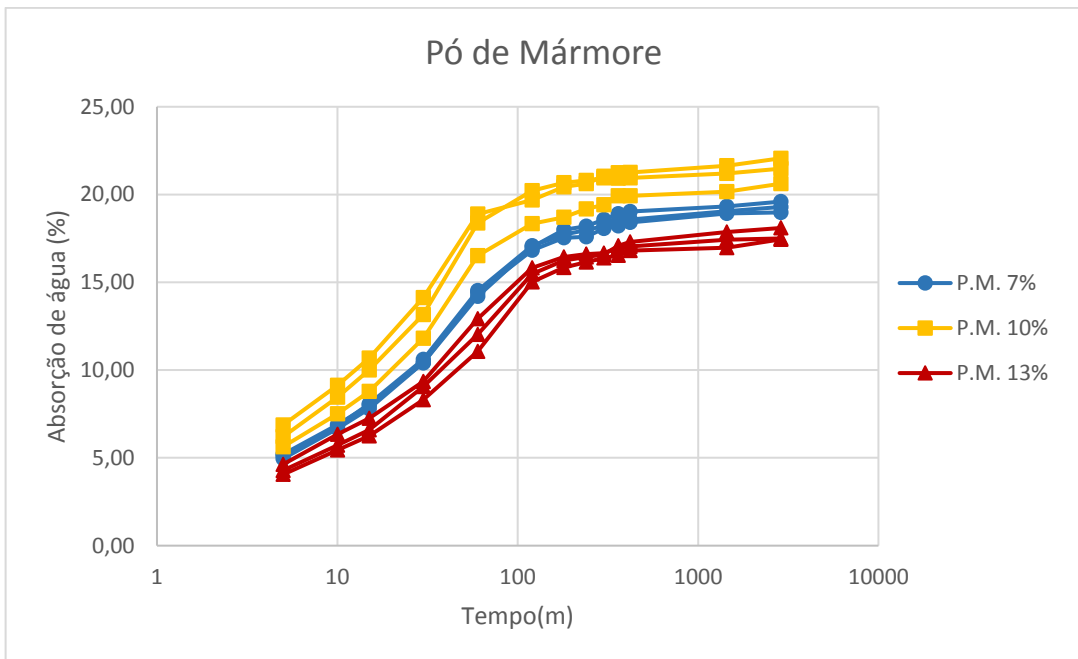


Figura 72 - Apresentação gráfica dos valores referentes ao Cb, em provetes com adição de pó de mármore.

Verifica-se uma relação diretamente proporcional entre os valores médios da absorção de água, os do coeficiente de absorção e os valores da capilaridade obtidos (Tabela 22), como é possível verificar através das Figuras 74, Figura 75 e Figura 76, respetivamente, observando-se que os provetes com 10% de adição, de cimento, cinzas volantes e pó de mármore, têm uma capacidade de absorção de água superior aos provetes com outros teores da mesma adição, em contraste com a situação dos provetes com 10% de adição de cal, onde se constata um valor mais baixo, em relação aos provetes com 7% e 13% de cal..

Esta relação demonstra, no caso dos provetes com 10% de adição de cimento, cinzas volantes e pó de mármore, que estes apresentavam uma maior capacidade de absorção, no final do ensaio de absorção de água por capilaridade, o que à primeira vista poderia significar que os provetes ou continuariam com uma grande capacidade de absorção, ou teriam tido uma absorção de água mais lenta. Contudo, relacionando com a percentagem de água absorvida e o valor da capilaridade, verifica-se que esses mesmos provetes, para além de terem absorvido uma maior quantidade de água, no período inicial e ao longo do ensaio, relativamente aos provetes com diferentes teores da mesma adição, no final revelaram-se com uma capacidade de absorção superior, podendo eventualmente significar que ainda não teria sido atingido o seu estado de saturação.

No caso dos provetes com 10% de cal aérea adicionada verifica-se que, contrariamente ao que acontece com os provetes com outro tipo de adições, os valores de absorção de água, coeficiente de absorção e capilaridade são os mais baixos, relativamente aos provetes realizados com outras quantidades de cal. Esta relação possivelmente está relacionada com o facto de a água, absorvida pelos provetes com 10% de cal adicionada, ao reagir com esta, não é contabilizada nas pesagens, dando a ideia que os mesmos não absorveram tanta quantidade de água, diminuindo assim a sua real capacidade de absorção. Existe a possibilidade de a absorção de água ter sido superior, em relação a outro tipo de provetes, mas ao ser consumida na reação referida anteriormente, nomeadamente pela hidratação das partículas de cal, e por esta se tratar de uma reação exotérmica<sup>13</sup>, a água deixa de ficar livre e mensurável.

---

<sup>13</sup> Reação química cuja energia é transferida de um meio interior para um meio exterior, através da libertação de calor.

Tabela 22 - Valores médios referentes à absorção de água, ao coeficiente de absorção, após a finalização do ensaio (48horas) e quanto à capilaridade dos provetes.

<b>Adição</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Coefficiente de Absorção (%)</b>	<b>Capilaridade (g/cm2)</b>
<b>Sem adições</b>	17,69	5,59	0,4298
<b>Cal 7%</b>	18,06	5,28	0,3574
<b>Cal 10%</b>	14,66	4,52	0,5833
<b>Cal 13%</b>	15,15	4,73	0,4431
<b>Cimento 7%</b>	14,70	4,90	0,4539
<b>Cimento 10%</b>	14,82	4,97	0,4463
<b>Cimento 13%</b>	14,49	4,86	0,4974
<b>Cinzas Volantes 7%</b>	15,88	5,18	0,5085
<b>Cinzas Volantes 10%</b>	18,59	6,12	0,4334
<b>Cinzas Volantes 13%</b>	16,89	5,34	0,4715
<b>Pó de Mármore 7%</b>	19,29	6,40	0,4927
<b>Pó de Mármore 10%</b>	21,39	6,74	0,4497
<b>Pó de Mármore 13%</b>	17,68	5,86	0,5119

Após o tratamento de dados, referentes ao ensaio de absorção de água, constata-se que à primeira vista não é possível tirar qualquer tipo de conclusões, relativamente à maior ou menor quantidade de incorporação de adição estar relacionada com o melhor ou pior comportamento dos provetes quando sujeitos à presença exterior de água.

Contudo, dentro dos resultados obtidos, é possível concluir quais as melhores ou piores soluções, dentro do conjunto de provetes testados (Figura 73).

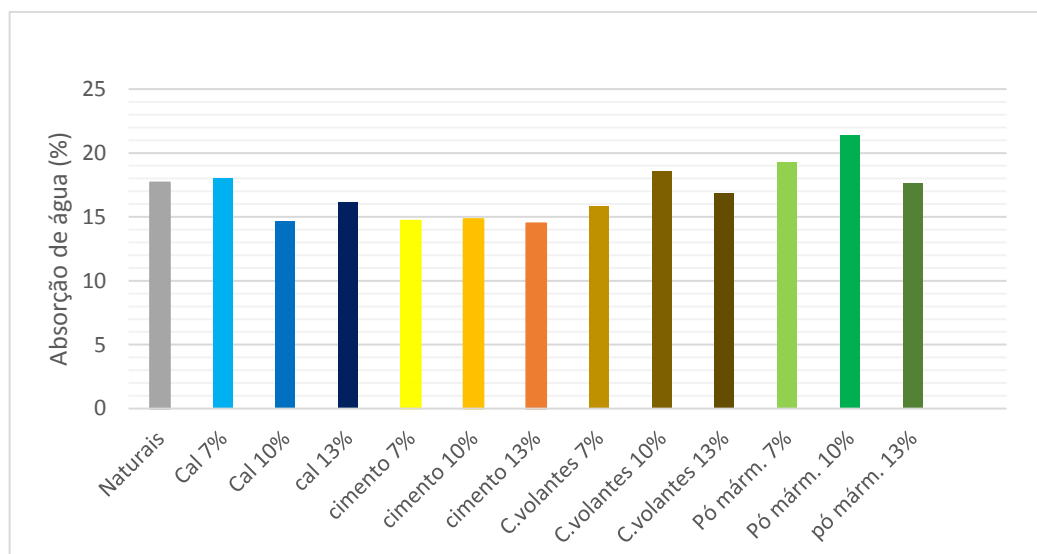


Figura 73 - Média dos valores percentuais de absorção de água, obtidos pelos provetes, por cada tipo de adição.

Os provetes com adição de cimento, bem como os provetes com 10% de adição de cal, são os que têm um melhor comportamento relativamente à sua capacidade de absorção, não ultrapassando os 15% de água absorvida.

Com exceção dos provetes com adição de cal aérea, todos os restantes provetes, com a respetiva mistura, apresentam os valores mais elevados de absorção de água quando tem incorporado 10% de adição. A maior absorção de água está intimamente relacionada com a porosidade, assim, certamente que, nas misturas com 10% de adição há um reajustamento granulométrico que determina o aumento da porosidade e conseqüente absorção, sendo esta de maior ou menor expressão em função da natureza da adição (adições diferentes, têm curvas granulométricas distintas). Esta possibilidade é ainda corroborada pela situação aparentemente anómala da mistura com cal aérea. Para esta mistura verifica-se que para os provetes com 10% de cal adicionada, a absorção de água é inferior, ao verificado nos provetes com 7% e 13% de adição, o que aparenta ser contraditório com o que se passa nas restantes misturas. Contudo, importa ter presente que a cal reage com a água e quanto maior for a quantidade de água disponível, maior será a reação que se verifica. Assim, admite-se que para as misturas com 10% de cal adicionada, a porosidade dos provetes é maior, o que implica uma absorção de água superior, comparativamente às misturas com 7% e 13% de adição de cal (tal como acontece para as misturas com outras adições), sendo que neste caso, a água absorvida vai reagir com a cal, sendo consumida nessa mesma reação, deixando de estar disponível, pelo que não é considerada quando se realiza a pesagem dos provetes. Deste modo, o resultado indica uma aparente redução da absorção de

água, onde na verdade este facto vem corroborar o que acontece para as restantes misturas com 10% de adição.

Conclui-se que os provetes com 10% de pó de mármore incorporado, apresentam a maior percentagem de água absorvida, podendo ser essa uma questão relacionada com a finura do material. Por se tratar de um material de elevada finura, o pó de mármore terá maior superfície de contacto e consequentemente, os provetes produzidos com a incorporação desta adição, tem tendência em absorver uma maior quantidade de água, onde apesar de serem dos piores casos constatados ao longo do ensaio, ainda se encontram em conformidade com o referido na norma NBR 8492-1984, onde a absorção de água em provetes individuais não deve ser superior a 22%.

Contudo, tratando-se de uma norma referente a blocos com adição de cimento, esse mesmo valor não deve ser considerado, quando se tratam de blocos com outro tipo de adições, que não o cimento, pois como verificado ao longo do ensaio, tornou-se perceptível pelo manuseamento dos provetes, a perda gradual da sua resistência ao toque.

Existe a possibilidade, no que toca às adições latentes (cal aérea e cimento), de os mesmos ao hidratarem com a água da amassadura, vão promover a que os provetes quando na presença exterior de água, não tenham tanta tendência em absorver uma quantidade superior de água, como no caso dos provetes sem adições e com adição de pó de mármore.

Ficando em aberto a questão relacionada com a maior facilidade que os provetes com 10% de adição incorporada, têm em absorver água, crê-se que a mesma poderá estar interligada, com a possibilidade de a proporção solo/adição ser a “ideal” para que a capacidade de absorção seja maior, por parte deste tipo de provetes. Contudo, para corroborar esta hipótese seria necessário a realização de um estudo mais aprofundado, a nível laboratorial, para maior compreensão desta situação.

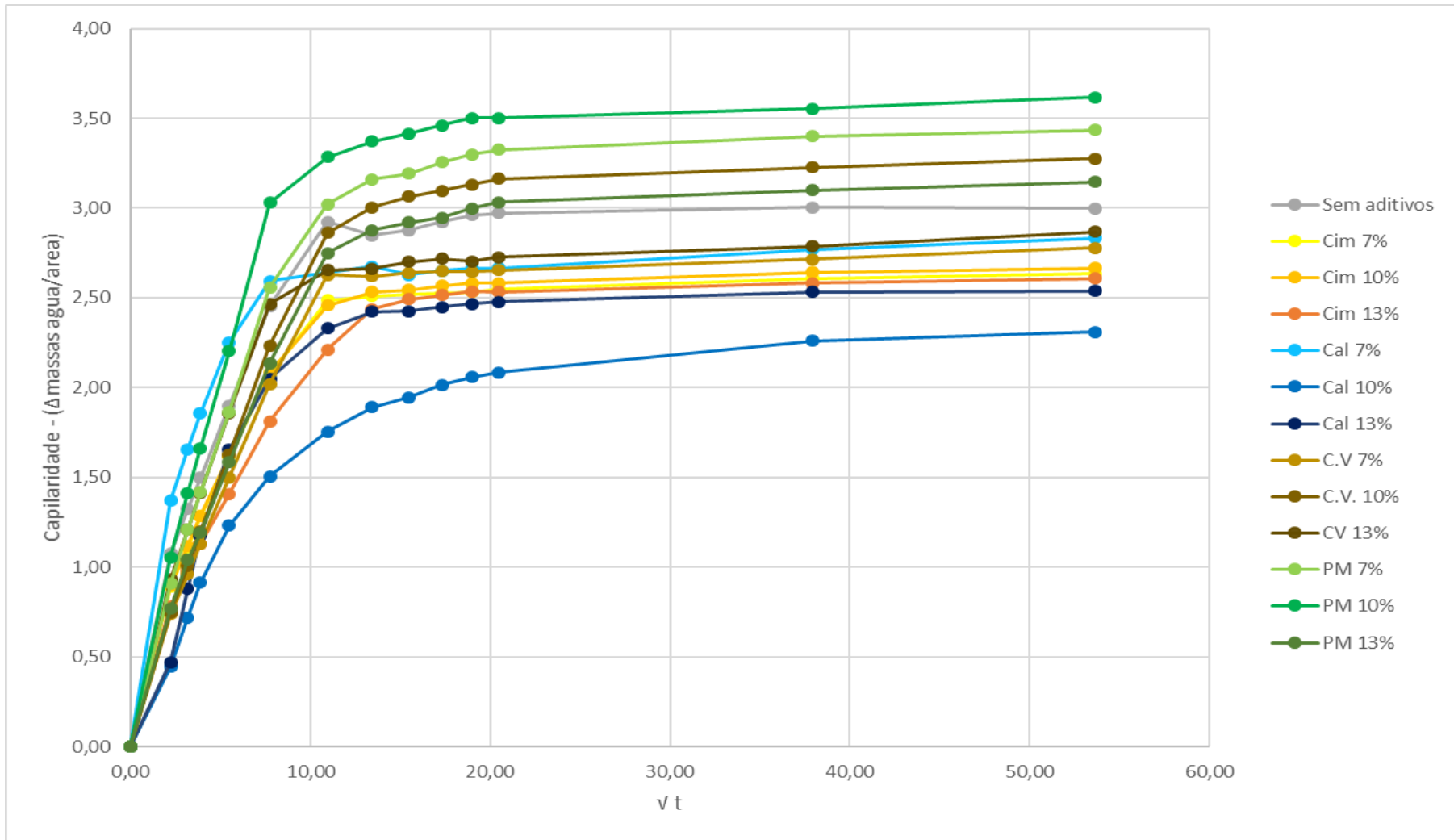


Figura 74 - Curva de Capilaridade



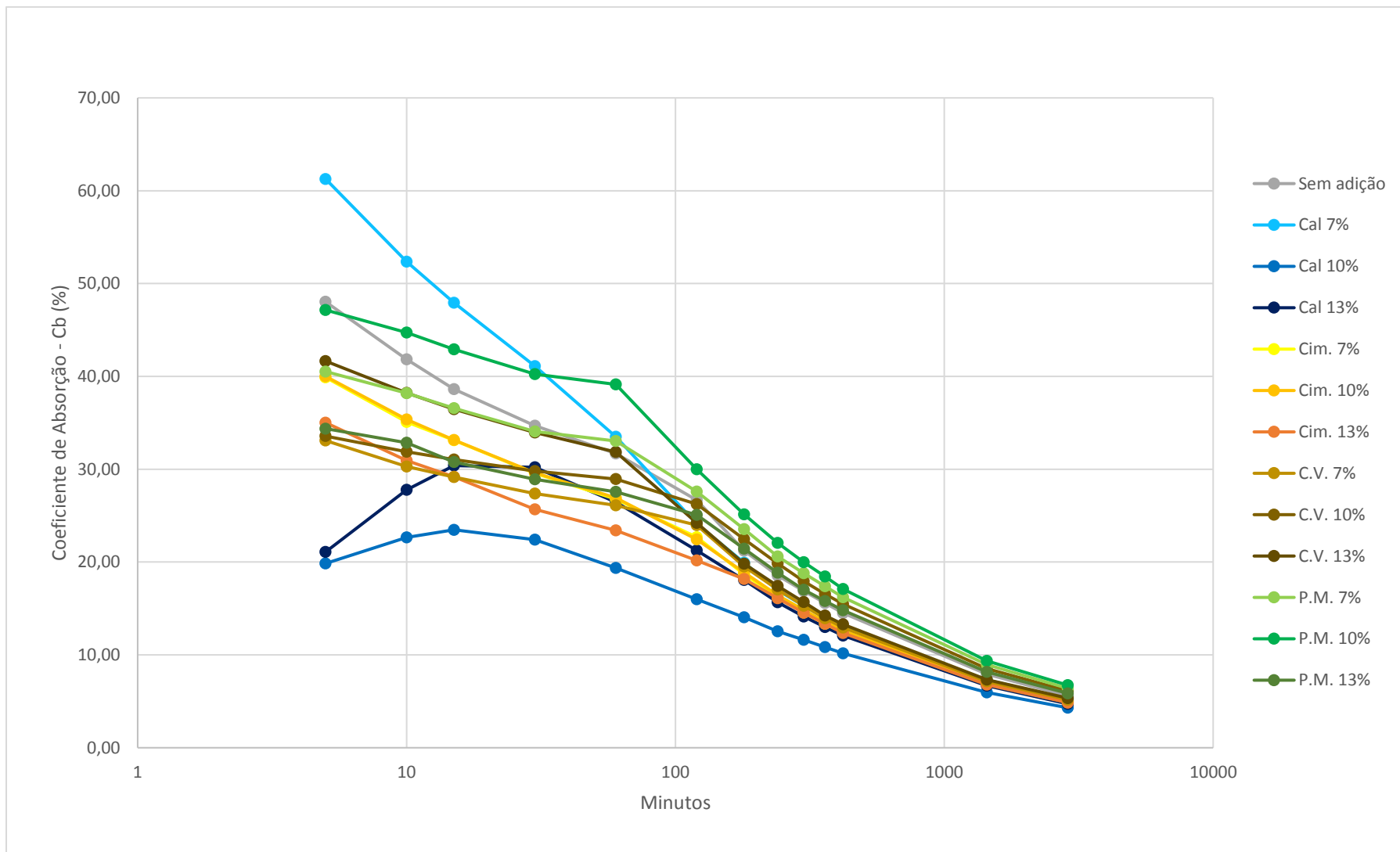


Figura 75 - Valores médios do coeficiente de absorção.

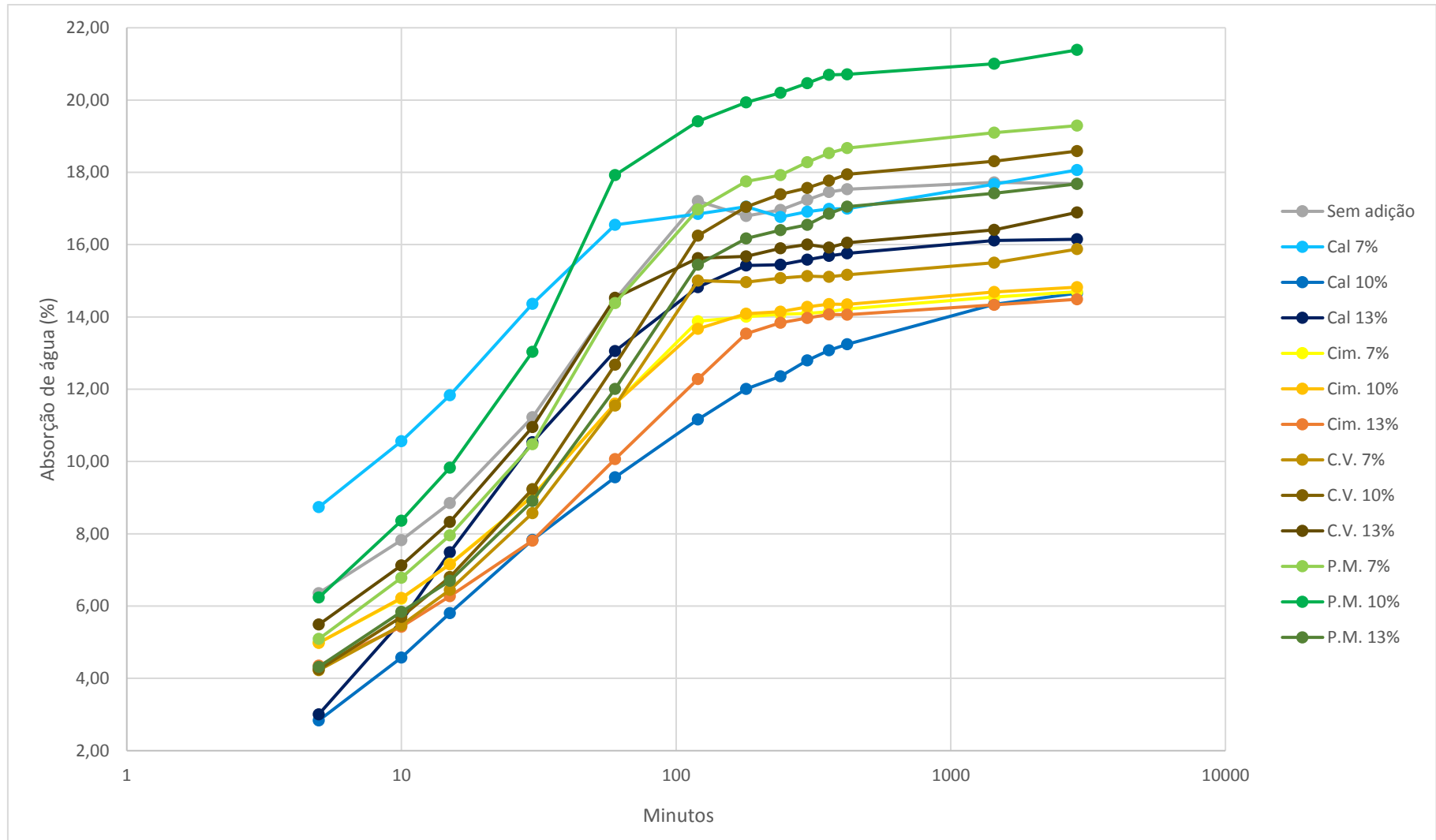


Figura 76 - Valores médios da absorção de água

## Ensaio de caracterização mecânica dos BTC

### 5.1.2 Ensaio de resistência à compressão

Após serem atingidas as datas previstas para a execução do ensaio de caracterização mecânica, nomeadamente aos 14 dias e aos 28 dias, os mesmos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

Tal como para o ensaio anteriormente descrito, iniciou-se o seguinte ensaio com a redução das dimensões dos blocos, realizando-se um corte perpendicular à sua maior dimensão, obtendo-se provetes com dimensões de aproximadamente  $14,5 \times 14 \times 9,5 \text{ cm}^3$ , de modo a que estes não ultrapassassem as dimensões do prato da prensa, onde os mesmos foram colocados para a realização do ensaio.

Tendo sido utilizada uma prensa Form + Test PrufSystem, modelo Alpha 3, com uma velocidade de aplicação da carga de  $13,5 \text{ kN/s}$ , antes da introdução dos provetes na mesma para a realização do ensaio, estes foram pesados e medidos, para garantir que se tinham as corretas dimensões dos mesmos, passando-se então à realização do ensaio em si.

Resultante dos ensaios de caracterização mecânica, calculou-se a massa volúmica dos provetes (Tabela 23) e determinou-se a média das resistências à compressão, como indicado na Figura 77.

Tabela 23 - Massa Volúmica dos provetes (g/cm<sup>3</sup>)

Provetes	Sem adiçõess		Cal aérea						Cimento					
			7%		10%		13%		7%		10%		13%	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
1	1,83	1,82	1,66	1,65	1,69	1,65	1,72	1,64	1,87	1,83	1,90	1,83	1,97	1,91
2	1,87	1,86	1,72	1,66	1,69	1,66	1,69	1,67	1,87	1,85	1,90	1,86	1,95	1,88
3	1,82	1,85	1,71	1,66	1,66	1,68	1,65	1,72	1,88	1,89	1,89	1,91	1,94	1,91
4	1,83	1,85	1,71	1,67	1,68	1,64	1,76	1,68	1,93	1,86	1,88	1,90	1,96	1,93
5	1,92	1,83	1,70	1,68	1,88	1,69	1,71	1,71	1,90	1,87	1,68	1,85	1,95	1,88
6	1,82	1,78	1,67	1,68	1,67	1,64	1,68	1,72	1,87	1,84	1,89	1,87	1,98	1,85
7	1,85	1,87	1,66	1,67	1,70	1,67	1,69	1,69	1,83	1,86	1,92	1,91	1,92	1,88
8	1,89	1,87	1,71	1,68	1,67	1,65	1,74	1,70	1,89	1,87	1,92	1,92	1,86	1,89
Média	1,85	1,84	1,69	1,67	1,71	1,66	1,70	1,69	1,88	1,86	1,87	1,88	1,94	1,89
	Cinzas Volantes						Pó de Mármore							
	7%		10%		13%		7%		10%		13%			
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias		
1	1,83	1,81	1,85	1,87	1,85	1,83	1,89	1,84	1,86	1,85	1,89	1,87		
2	1,84	1,81	1,82	1,88	1,83	1,84	1,89	1,85	1,95	1,89	1,90	1,87		
3	1,69	1,83	1,81	1,83	1,86	1,84	1,93	1,85	1,89	1,84	1,91	1,87		
4	1,68	1,83	1,82	1,81	1,86	1,84	1,92	1,85	1,89	1,83	1,93	1,90		
5	1,82	1,81	1,86	1,85	1,85	1,80	1,91	1,83	1,89	1,86	1,90	1,84		
6	1,78	1,82	1,86	1,90	1,83	1,82	1,97	1,86	1,91	1,84	1,91	1,89		
7	1,83	1,81	1,89	1,85	1,79	1,84	1,91	1,86	1,92	1,87	1,94	1,90		
8	1,80	1,81	1,86	1,83	1,81	1,87	1,90	1,88	1,88	1,89	1,92	1,91		
Média	1,78	1,82	1,85	1,85	1,84	1,83	1,91	1,85	1,90	1,86	1,91	1,88		

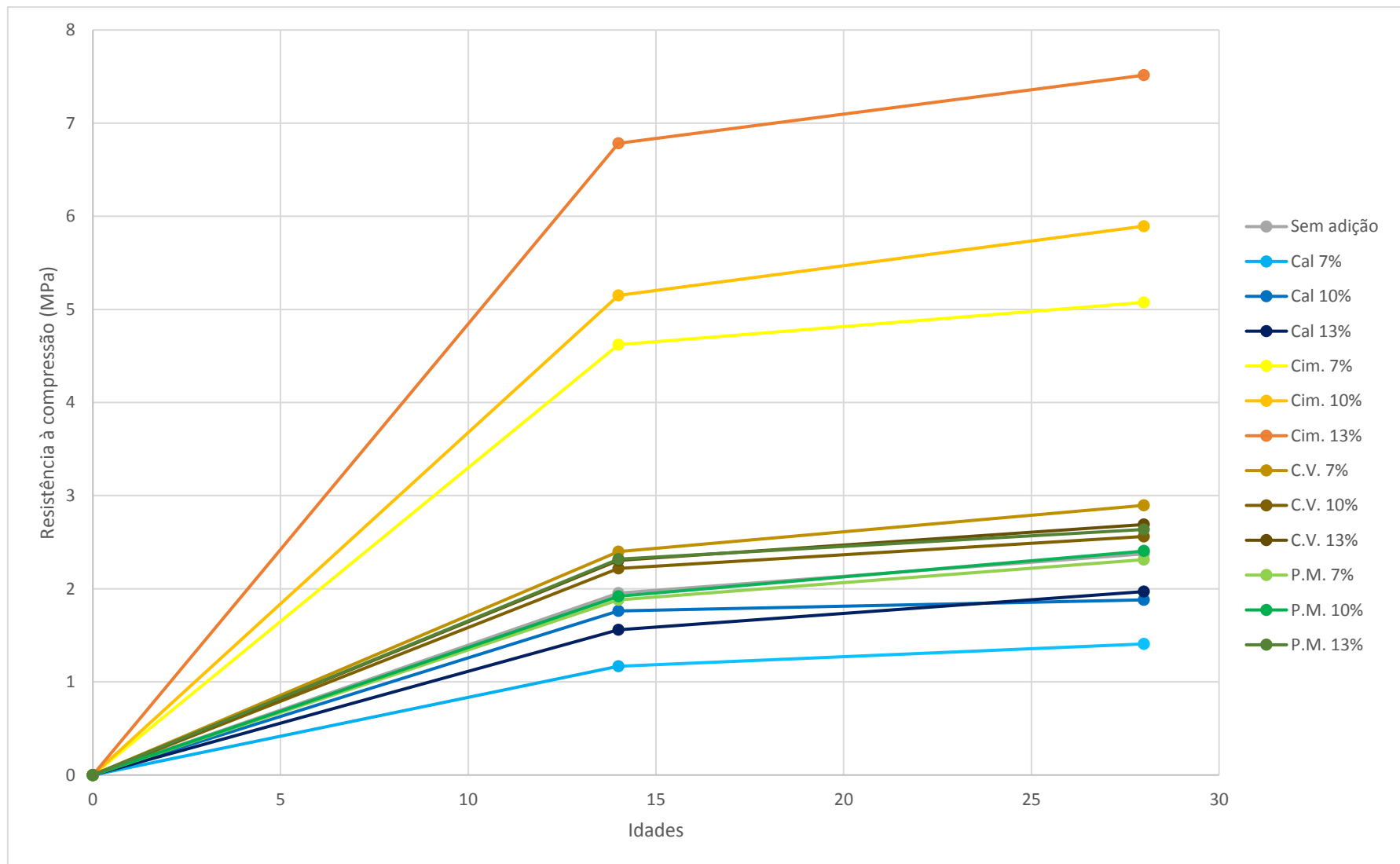


Figura 77 - Valores médios das resistências à compressão.

### **Provetes sem adições**

Verifica-se uma evolução significativa, relativamente ao aumento da resistência à compressão, nos provetes sem adições incorporadas, verificando-se o melhoramento da mesma em aproximadamente 0,4 MPa, dos 14 para os 28 dias, constatando-se ainda a aproximação de um comportamento mais estável, após os 14 dias, aparentemente relacionada com a proximidade da sua estabilização.

Constata-se que os provetes naturais, a partir dos 14 dias de cura, já apresentam valores de resistência à compressão próximos do valor indicado pelo documento normativo australiano “CSIRO 5 Earth-wall construction”, no que toca a BTC’s sem adições, e com dimensões idênticas às utilizadas neste estudo, e pelo referido segundo o grupo CRATerre, relativamente à construção de edifícios em terra com um único piso, indicando que a resistência mínima para BTC’s deve ser de pelo menos 2 MPa, sendo que a partir dos 28 dias, todos os provetes testados, já apresentam uma resistência superior à referida.

### **Provetes com adição de Cal Aérea**

Relacionando com o anteriormente referido nesta dissertação, onde foi exposto o facto de a cal reagir mais lentamente, os provetes com adição de cal são os que apresentam os valores mais baixos de resistência à compressão, nas idades testadas, em comparação com outro tipo de provetes. É fácil de verificar que os provetes com 7% de adição de cal, foram os que apresentaram os valores mais baixos de resistência ao longo dos dias estipulados para a realização do ensaio, com um aumento da resistência entre os 14 e os 28 dias de aproximadamente 0,3 MPa.

No caso dos provetes com 10% de cal incorporada, apesar terem apresentado resistências superiores aos 14 dias, relativamente aos provetes com diferentes teores de cal adicionada, verificou-se que dos 14 para os 28 dias o aumento da resistência não foi significativo, tendo melhorado sensivelmente 0,1 MPa, o que levou a que estes fossem ultrapassados pelos provetes com 13% de cal incorporada, onde dos 14 para os 28 dias verificou-se um aumento de resistência de aproximadamente 0,4 MPa. Até a data a que foram testados, os provetes fabricados com a incorporação de cal aérea apresentaram resultados piores que os obtidos pelos provetes sem qualquer tipo de adição. Contudo, tendo em consideração a evolução das amostras, entre os 14 e os 28 dias, tudo leva a crer que em idades mais avançadas, os provetes

com cal incorporada serão mais resistentes que os provetes sem adições, podendo ser explicado devido ao lento crescimento das resistências ao longo do tempo, por parte da cal, existindo a necessidade de prolongar o tempo de cura.

Verifica-se que este tipo de provetes não apresentam, até aos 28 dias, os valores mínimos recomendados, com o estipulado pelas normas brasileira (NBR 8491-1984) e colombiana (NTC 5324), referentes a blocos com adição de cimento, onde a média das resistências obtidas pelos provetes testados deve ser superior a 2 MPa, e os valores individuais da resistência dos provetes não devem ser inferiores a 1,7 MPa, mas, como referido, em idades mais avançadas existe a possibilidade das mesmas serem atingidas.

Segundo o ensaiado por Gutiérrez e Mujica (2013), um BTC realizado com um solo constituído por 40% de argila, ao qual se adiciona 7% de cal aérea, aos 15 dias, consegue atingir resistência na ordem dos 8,4 MPa.

Demonstra assim, que a cal reage melhor em solos que tenham uma quantidade de argila superior, comparado com os resultados obtidos nesta dissertação, onde aos 14 dias, as resistências obtidas para um BTC com 8,71% de argila, rondaram os 1,17MPa.

### **Provetes com adição de cimento**

Para qualquer das percentagens de cimento utilizado, verifica-se que este conjunto de provetes foram os que apresentaram o maior incremento de resistências à compressão, bem como um comportamento constante ao longo dos dias a que foram ensaiados.

Os provetes com incorporação de 7% de cimento, foram os que obtiveram o menor valor de resistência à compressão, dentro do grupo, não apresentando ao longo dos dias de ensaio, grande variação na evolução da resistência, relativamente aos provetes com diferentes teores de cimento incorporado.

Os provetes com 10% de cimento incorporado, apesar de terem apresentado um aumento de resistência igual aos provetes com adição de 13% de cimento, de cerca de 0,74 MPa, dos 14 para os 28 dias, representam os valores intermédios obtidos através do ensaio de compressão, sendo estes valores ultrapassados pelas resistências atingidas pelos provetes com 13% de cimento, com um valor médio de aproximadamente 7,5 MPa.

Para qualquer um dos grupos, deste conjunto de provetes com diferentes teores de cimento incorporado, a partir dos 14 dias estes já apresentam valores de resistência à compressão,

superiores ao recomendado pelas normas já referidas nos dois pontos anteriores, sendo que mesmo para os provetes com as resistências mais baixas, (7% de adição de cimento) os valores obtidos refletem-se no dobro do valor recomendado de 2 MPa.<sup>14</sup> Segundo a norma colombiana “NTC 5324” é obrigatória uma cura de 14 dias, dos blocos com adição de cimento, antes de esta poder ser empregue em obra.

Comparando com os resultados obtidos por Waziri et al.(2013), onde estes obtiveram resistências de 3 MPa , aos 28 dias, utilizando um solo com características semelhantes ao utilizado nesta dissertação, onde a incorporação de cimento foi de 7,5%, neste caso as resistências foram superiores em 2 MPa, para a mesma idade, utilizando uma percentagem mais reduzida da mesma adição.

### **Provetes com adição de Cinzas Volantes**

Apresentando dos valores mais elevados no que toca à resistência à compressão, sem contar com os resultados obtidos pelos provetes com incorporação de cimento, os provetes com 7% de incorporação de cinzas volantes foram os que apresentaram um comportamento mais constante e as maiores resistências nos ensaios de caracterização mecânica, verificando-se um aumento da resistência de 0,5 MPa, registado dos 14 para os 28 dias.

Para os provetes com 10% de cinzas volantes incorporadas, os mesmos obtiveram o aumento de resistência mais baixo, relativamente aos outros dois grupos de provetes com incorporação de cinzas volantes, dos 14 para os 28 dias, em torno dos 0,30 MPa, refletindo-se esse facto no pior comportamento, quando comparado com as outras 2 misturas.

Os provetes com 13% de cinzas volantes incorporadas, apresentam os valores intermédios relativamente ao aumento da resistência, nas idades em que foram testados, revelando um aumento de aproximadamente 0,4 MPa.

Apesar das cinzas volantes apresentarem propriedades pozolânicas, o ganho de resistência não foi propriamente significativo, uma vez que a componente pozolânica, presente nas cinzas volantes, só reage se se encontrar na presença de hidróxido de cálcio, existente nos cimentos e na cal.

---

<sup>14</sup> Segundo Barbosa et al., s.d., para pequenas construções, 4 a 5 % de cimento adicionado a um solo com características adequadas, já possibilitam a existência de um produto capaz de resistir aos carregamentos de serviço e à ação da água, sendo economicamente viáveis.



Verifica-se uma perda de resistência, não compensada com o aumento do teor de cinzas volantes, contudo aos 14 dias é possível aferir que os provetes com diferentes quantidades desta adição, já apresentam médias, referentes aos valores de resistência à compressão, superiores aos 2 MPa<sup>15</sup>, com valores individuais superiores a 1,7 MPa, com exceção dos provetes com 7% de adição de cinzas volantes, que apresentam um valor mínimo de resistência à compressão de 1,59 MPa. Neste caso, o intervalo entre o menor e o maior valor, referente aos provetes com 7% de adição de cinzas volantes, é superior comparativamente a qualquer outro intervalo de valores, obtido através do ensaio de caracterização mecânica, justificado, possivelmente, pelo erro que a produção manual de BTC's pode acarretar, originando o fabrico de um bloco anómalo, de pior qualidade.

### **Provetes com adição de Pó de Mármore**

Comparativamente às amostras sem adições, verifica-se que a incorporação de pó de mármore em percentagens acima de 10%, são benéficas, uma vez que permitem melhorar a compactidade dos blocos (redução de vazios), permitindo um aumento de resistência dos 14 para os 28 dias de cerca de 0,5 MPa.

Verifica-se facilmente que os provetes com 7% de adição de pó de mármore, são os que apresentam os valores de resistência à compressão mais baixos, ao longo dos dias a que foram testados, apresentando aos 28 dias uma resistência média de 2,31 MPa, seguido dos provetes com 10% de pó de mármore incorporado, que apresentaram uma resistência média de cerca de 2,40 MPa.

Os provetes com 13% de adição de pó de mármore, revelaram os valores de resistência à compressão mais elevados, com um valor médio superior de 0,30 MPa em relação aos provetes com 7% deste tipo de adição incorporada.

Verifica-se que só os provetes com 13% de adição de pó de mármore, é que apresentam, aos 14 dias, os valores mínimos de resistência à compressão, exigidos pelas normas, enquanto que os provetes com 7% e 10% de adição, só cumprem com o exigido, relativamente à média das resistências obtidas e ao valor individual mínimo dos provetes, ao fim de 28 dias de cura.

---

<sup>15</sup> Silva et al (2014), para provetes realizados com a adição de 15% de cinzas volantes, obtiveram resistências de 8,8 MPa, aos 180 dias de cura.

Nos termos da resistência à compressão podemos ordenar as adições, da melhor para a pior da seguinte forma (Figura 78).

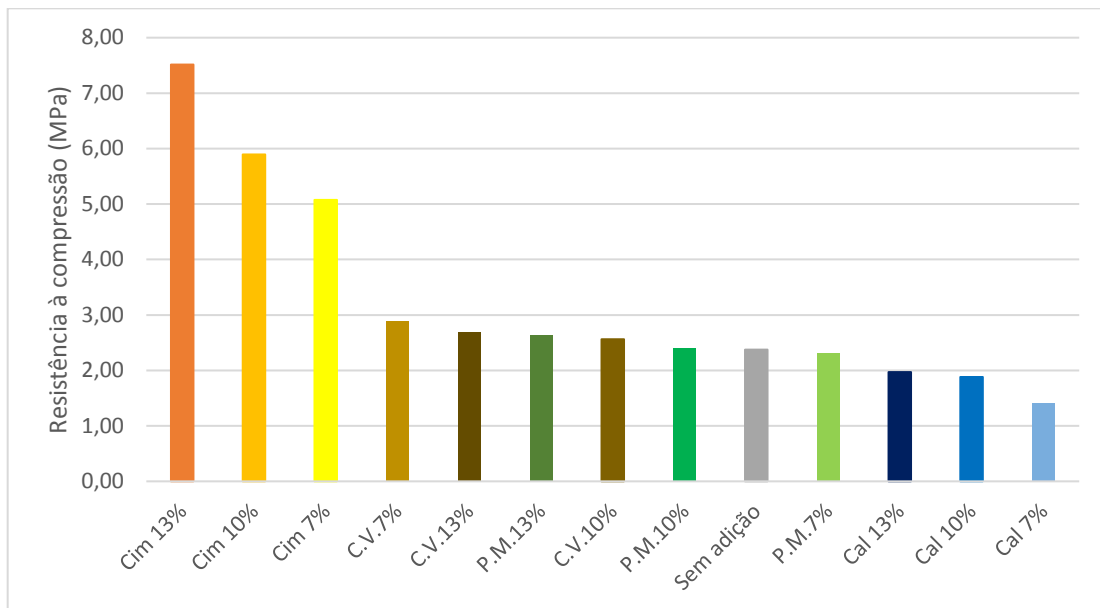


Figura 78 - Ordem decrescente de resistências à compressão para cada uma das composições.

---

# **Capítulo 6**

## **Conclusões e considerações finais**

---



O envolvimento pessoal neste trabalho de pesquisa e experimentação, permitiu a obtenção de novos conhecimentos relacionados com a temática, através de pesquisa bibliográfica e da realização de toda a parte prática, facilitando a aprendizagem de todos os passos necessários para a produção de BTC's, desde a determinação da adequabilidade do solo a utilizar, passando pelo processo de fabrico e finalizando com os ensaios de caracterização dos blocos.

O objetivo da estabilização de BTC's consiste no melhoramento das suas características mecânicas e físicas, sendo a estabilização química definida pela menor dosagem de adição incorporada para a qual se garantem as características necessárias à utilização deste material, nomeadamente no que se refere à sua resistência à compressão e durabilidade, promovendo-se assim a obtenção de um produto final mais económico.

Nesta dissertação foi estudado um tipo de solo em concreto que, pelas suas características físicas, detinha todas as condições necessárias para a sua utilização como material para o fabrico de BTC's.

Apesar do solo apresentar características físicas em conformidade com o especificado por diversos autores, para a sua utilização na produção de BTC's, a possibilidade de uma estabilização física, com a introdução de um material de maiores dimensões, como uma areia mais grossa, juntamente com a utilização de equipamento técnico mais adequado, como uma misturadora mais potente, ou a utilização de uma prensa hidráulica, teria sido muito mais vantajoso durante a fase de produção, permitindo a obtenção de BTC's de melhor qualidade. Isto porque, a utilização de uma prensa hidráulica, ao aplicar pressões, no mínimo duas vezes superiores às aplicadas por uma prensa manual, permitiria a produção de blocos com uma resistência mecânica mais elevada e com menor capacidade de absorção de água, devido ao menor índice de vazios existentes nos blocos, que a força aplicada proporcionaria, através de uma compressão do material mais elevada, diminuindo a baridade e traduzindo-se ainda, numa produção mais controlada e com a obtenção de um conjunto de blocos mais homogêneos entre si.

Refutando o referido por Jalali et.al (2009), relativamente à quantidade de água a utilizar nas misturas ser determinada através do ensaio de compactação Proctor, e defendendo o mencionado pelo grupo CRAterre, a determinação da quantidade de água a utilizar foi realizada através da utilização da própria prensa, bem como pelo ensaio expedito da mão, referido em 4.1

Há que referir, que os valores obtidos após a realização dos ensaios de caracterização dos blocos, não podem ser tomados como valores padrão, se se pretender utilizar determinado teor de uma adição, como os utilizados neste trabalho, para a produção de BTC's com outro tipo de solo, uma vez que a qualidade dos blocos, vai variar de solo para solo. Os valores de resistência mecânica e capacidade de absorção de água obtidos, só poderão ser considerados e adotados como referência quando utilizado um solo com as características iguais ao utilizado neste trabalho. A utilização de outro tipo de solo não garante a obtenção dos mesmos resultados.

Além disso, a utilização de um método mecânico com aplicação de carga manual para produção dos BTC's, não permite a obtenção de valores rigorosos para o grau de compactação dos blocos. O conhecimento deste parâmetro (repetibilidade) seria relevante para se poder aferir determinadas propriedades dos BTC e explicar alguns comportamentos específicos verificados. Da mesma maneira que, de utilizador para utilizador, poderão haver diferenças na velocidade e força com que a carga é aplicada.

### **Resultados dos ensaios de Absorção de água por capilaridade**

Relativamente à incorporação de adições, verificou-se que os provetes com incorporação de adições hidráulicas latentes não tiveram tanta tendência em absorver água, quando comparado com os provetes sem adições e com os provetes com adição de cinzas volantes e pó de mármore. Isto explica-se pela possibilidade de a parte ligante já ter reagido com a água aquando da amassadura, não requerendo muita mais nesta fase.

Já o pó de mármore, requereu mais água, possivelmente por ter finura maior. Eventualmente, isto pode dever-se a uma maior superfície específica de contacto com a água, por parte das partículas que constituem a adição, levando a uma maior absorção de água.

Foi verificado que os valores mais baixos referentes à quantidade de água absorvida, quando utilizado determinado teor de adição, coincidiram com os valores mais elevados obtidos através do ensaio de determinação da resistência à compressão, ou seja, caso os valores obtidos fossem excelentes, servindo como modelo para futuras produções, quanto maior fosse a resistência à compressão obtida, para determinado tipo de blocos, neste caso específico, menor seria a sua capacidade de absorção. Eventualmente, este comportamento deriva de uma menor porosidade dos blocos, com valores de resistência à compressão mais elevados, onde para qualquer uma das ações em referência, que possam influenciar diretamente ou

indiretamente na compacidade apresentada pelo bloco, quanto maior a compacidade, maior a resistência mecânica à compressão e menor a quantidade de espaços disponíveis a serem ocupados por água.

Para os BTC's com adição de cimento, verificou-se que os mesmos apresentaram os valores mais baixos de absorção de água, com uma percentagem de água absorvida semelhante, entre cada teor utilizado, sendo possível optar-se pela utilização de 7% de cimento para a produção.

Relativamente à produção de blocos com incorporação de cal aérea, verificou-se que, quando adicionado 10% de cal à mistura, a mesma apresentou uma capacidade de absorção de água inferior aos blocos com outros teores da mesma adição incorporada, apresentando valores semelhantes aos obtidos pelos BTC's realizados com cimento. Contudo, apesar disso, se se optasse pela produção de blocos com adição de cal, nesta percentagem, pelo bom comportamento que os mesmos apresentam na presença de água, esta escolha não seria vantajosa, devido à fraca resistência à compressão que os mesmos apresentaram, até a data a que foram testados.

Mais uma vez, se se optasse pela produção de blocos com adição de cinzas volantes, em detrimento da utilização de cimento como adição, obter-se-ia um BTC com valores de absorção de água inferiores, correspondente aos valores mais elevados de resistência, que, neste caso concreto, corresponde aos blocos com 7% de cinza incorporada.

Quanto aos blocos com adição de pó de mármore, a utilização desta adição não seria aconselhável, caso se pretendesse um BTC com fraca capacidade de absorção de água, uma vez que os mesmos não apresentaram um bom comportamento face à presença exterior de água, comportamento esse que se demonstrou pior ao observado nos blocos sem qualquer tipo de adição incorporada.

Apesar de os valores obtidos, referentes à absorção, não ultrapassarem o valor máximo exigido, pelos documentos normativos estudados, é necessário o melhoramento desta condição, com a introdução de produtos hidrófugos na amassadura, para diminuir a capacidade de absorção do produto final, sempre que se verifique ser essa uma situação vantajosa, podendo permitir a aplicação de BTC's em obra no seu estado natural, sem se recorrer à aplicação de acabamentos e tratamentos superficiais, caso assim se pretender, que apresentem um bom comportamento na presença de água, mantendo-se como um produto de boa qualidade.

## **Resultados dos ensaios de resistência à compressão**

Os BTC's estabilizados com cimento, apresentaram os melhores valores de resistência mecânica, constatando-se que os mesmos poderiam ter sido produzidos com uma percentagem de cimento incorporado mais reduzida para a obtenção dos valores mínimos exigidos (valores médios de 2 MPa aos 14 dias, no caso da norma Colombiana), levando à diminuição do preço do produto final.

De acordo com a pesquisa efetuada, na produção de BTC's com solos arenosos, a estabilização com cimento é a mais adequada, o que vai ao encontro dos resultados obtidos.

No que toca aos BTC's estabilizados com cal aérea, estes apresentaram os piores resultados ao nível da resistência à compressão, revelando-se inclusive piores que os BTC's produzidos sem qualquer tipo de adição incorporada. Este facto pode estar associado ao lento crescimento da resistência à compressão da cal aérea.

Constatou-se com a pesquisa realizada, que a cal não tem um bom desempenho quando se pretende estabilizar solos arenosos, não sendo aconselhada a utilização desta adição na produção de BTC's com este tipo de solo. Este comportamento contrasta com o de situações de tratamento de solos argilosos com esta adição, em que é possível a obtenção de BTC's de melhor qualidade. Para além disso, o facto de a cal ter um tempo de cura superior aos dos outros ligantes utilizados, não permitiu que durante o período em que os provetes foram ensaiados, se verificasse a possibilidade de se atingirem valores de resistência à compressão mais aceitáveis, no entanto, isto poderá ocorrer em idades mais avançadas.

Caso se optasse pela produção de blocos sem adição de cimento, a utilização de cinzas volantes para a estabilização deste tipo de solo, poderia ser uma boa opção, uma vez que os BTC's produzidos com este tipo de adição, apresentaram os segundos valores de resistência à compressão mais elevados, atingindo um valor superior ao mínimo exigido aos 14 dias de cura (de acordo com a norma anteriormente referida), onde se verifica que neste caso, quanto menor a adição de cinzas volantes melhor o resultado que se obtêm.

Como já referido, apesar de as cinzas volantes se tratarem de uma adição hidráulica latente, as mesmas poderiam ter permitido que os blocos atingissem resistências superiores caso se encontrem na presença de adições hidráulicas latentes compostas por hidróxido de cálcio, como o caso do cimento e da cal. A mistura das cinzas, com uma das outras 2 adições, mesmo que em uma dosagem pequena, teria permitido um aumento significativo da resistência, comparando com os provetes produzidos unicamente com adição de cinzas volantes.



A utilização do pó de mármore na fabricação de BTC's, também poderia ser uma opção viável, se nos ativermos ao facto de os valores de resistência à compressão obtidos serem superiores aos valores mínimos exigidos, contudo necessitam de mais tempo de cura para atingirem valores mais satisfatórios, relativamente aos blocos produzidos com incorporação de cinzas volantes. Para além disso, o facto de o pó de mármore ser um resíduo sem qualquer valor comercial e de não ter grande uso, a sua obtenção permitiria o fabrico de um BTC sem grandes custos de produção, caso o local de produção fosse perto de uma pedreira, uma vez que o transporte do pó de mármore, para zonas mais distantes, iria encarecer o preço do produto final. Cabe realçar que, embora a adição de pó de mármore seja uma adição sem propriedades latentes, a mesma vem refinar a porosidade dos blocos o que lhe possibilita um incremento de resistência à compressão.

Dos resultados obtidos foi possível verificar que o tipo de solo escolhido cumpre as normas internacionais adotadas e que é viável a sua utilização como material base para a construção de BTC'S. Verificou-se também que o uso de adições é benéfico e melhora a capacidade resistente e de absorção de água dos mesmos.

Também se constatou que algumas das adições permitem que os BTC's tenham um bom comportamento quando em contacto com o exterior, o que poderá permitir a sua utilização em ambientes cuja pluviosidade não seja muito elevada

Por um lado, de todas as composições estudadas, verificou-se que a melhor foi a que incorporava 13% de cimento, mas, por outro lado, a de 7% de cimento, também não ficou muito aquém desta solução, sendo que ao contrário da de 13%, possibilita a construção de um BTC de menor custo.

Já a composição com 7% de cal aérea incorporada apresentou o pior comportamento face à resistência à compressão. Relativamente à absorção de água, os BTC's produzidos com adição de pó de mármore, revelaram-se os piores casos verificados, principalmente aqueles com 7% desta adição incorporada. Obviamente que estes resultados poderão ser até melhores se analisados em idades de cura mais avançadas. Por outro lado, a velocidade a que se exige que as construções sejam executadas hoje em dia, não nos dão grande margem de manobra.

## Considerações finais

O objetivo inicial desta dissertação, consistia na produção de um conjunto de BTC's capazes de assumirem uma boa capacidade resistente, obtida através da adição de ligantes, e ao mesmo tempo apresentarem um bom comportamento face à presença exterior de água, se necessário, através da introdução de produtos com comportamento hidrófugo. Contudo, devido à falta de tempo para a realização de uma campanha experimental dessa envergadura, compatível com os prazos previstos para a elaboração da dissertação, esta ideia acabou por ser posta de lado, podendo servir como tema para futuras investigações.

Apesar de ter sido interessante verificar o comportamento que uma porção de solo, ao ser misturado com uma pequena quantidade de adição e sofrendo uma prensagem, pode apresentar, em particular derivado do resultado obtido pelos BTC's produzidos com cimento, existe a necessidade de melhorar as capacidades e qualidade dos blocos, onde o problema relacionado com absorção de água se destaca, juntamente com a fraca capacidade resistente quando se trata da solicitação por ação de cargas horizontais.

Seria interessante o desenvolvimento de um projeto que envolvesse o estudo, nas suas diferentes variáveis, e a produção de BTC's com resistência a movimentos horizontais, uma vez que o território português se encontra numa zona de alguma instabilidade sísmica, seria importante garantir alguma segurança a esse nível, onde a conjugação com o conhecimento existente sobre o tema, poderia levar à produção de um produto de extrema qualidade a utilizar na edificação de estruturas de maior nível de segurança, que permitiria o enaltecimento da terra como material de construção com todas as qualidades que a própria acarreta, como na preservação do ambiente, os seus baixos custos energéticos, os seus benefícios na saúde humana, as suas excelentes propriedades ecológicas e, quando em obra, as suas capacidades a nível estrutural, térmico e acústico.

Não se pretende com o exposto, impor a utilização da terra como elemento prioritário ou único na construção, mas alertar para as qualidades que a mesma apresenta e que, mesmo apesar de algumas limitações (como qualquer outro material), poderá ser utilizada em conjunto com os "novos materiais", conciliando, por exemplo, a produção de paredes executadas em terra com suportes estruturais em betão armado.

---

## **Referências Bibliográficas**

---



## Referências Bibliográficas

- Almeida, L. F. (2015). *Caracterização das argamassas da Muralha Tardo-Romana de Oisipo*. Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Lisboa.
- Almeida, V. M. (2015). *Arquitectura em terra na região de Aveiro - Reabilitação de construções em adobe*. Dissertação de Mestrado, Universidade Lusiana do Porto, Faculdade de Arquitectura e Artes, Porto.
- Azevedo, A. F. (2002). *Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Minho
- Barbosa, N. P., Mattone, R., & Mesbah, A. (2002). *Blocos de Concreto de Terra: Uma opção Interessante para a Sustentabilidade da Construção*.
- Braga, A. M. (2011). *Las construcciones de tierra cruda en el Algarve. Potencialidades como material alternativo y sostenible*. Tese de Doutoramento, Universidade de Sevilha.
- Braga, A., & Rocheta, V. (s.d.). *A construção em terra e a sustentabilidade*. Universidade do Algarve, Departamento de Engenharia Civil, Faro.
- Buson, M. A. (2009). *Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componente de terra com a incorporação de fibras de papel kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical*. Tese de Doutoramento, Universidade de Brasília: Kraftterra.
- Carvalho, R. M. (2012). *Soluções para a construção de habitação em adobe a custos controlados*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro.
- Carvalhosa, A., & Zbyszewski, G. (1994). *Noticia Explicativa da Carta Geologica de Portugal folha 35D (1/50 000) - Montemor-o-Novo*. Instituto Geológico e Mineiro, Departamento de Geologia.
- Cid, J., Mazarrón, F., & Cañas, I. (s.d.). Las normativas de construccion con tierra en el mundo. Em *Informes de Construcción* (Vol. 63, pp. 159-169).

- Dias, R., Araujo, A., Terrinha, P., & Kullberg, J. C. (2013). *Geologia de Portugal - Geologia Meso-Cenozóica de Portugal* (Vol. II). Escolar Editora.
- Dias, R., Araujo, A., Terrinha, P., & Kullberg, J. C. (2013). *Geologia de Portugal - Geologia Pré-mesozóica de Portugal* (Vol. I). Escolar Editora.
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1991). *Building with earth*. New Delhi; India.
- Eires, R., & Camões, A. (2014). *Técnicas para melhorar a durabilidade da construção em terra*. Universidade de Coimbra, Departamento de Arquitectura, Coimbra.
- Eires, R., & Jalali, S. (2007). *Blocos de terra comprimidos de elevado desempenho utilizando misturas metacaulino-cal*. V Seminário de Arquitectura de terra em Portugal. Argumentun.
- Falcão, J. M. (2014). *Arquitectura Contemporânea em terra*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Fernandes, M. (s.d.). *Técnicas de construção em terra*. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Ferreira, L. M. (2015). *Arquitectura de terra - Das técnicas construtivas ao desenvolvimento de competências*. Dissertação de Mestrado, Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Porto.
- Galíndez, F. (2009). Aportación al ahorro Energético. *Bloques de Tierra Comprimida sin adición de cemento(BTC)*, pp. 63-73.
- Gomes, D. (2012). *Construção sustentável em blocos de terra compactada*.
- Gomes, E. M. (2004). *Sebenta de mineralogia*. Universidade de Coimbra, Departamento de Ciências da Terra, Coimbra.
- Gomes, N. D. (2015). *Caracterização de blocos de terra para construção de alvenarias ecoeficientes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias.
- Gomes, N. D., Faria, P., & Silva, V. (2014). *Caracterização de argamassas de assentamento e de alvenarias de blocos de terra*. I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento. Coimbra.

- Gonçalves, F., & Carvalhosa, A. (s.d.). *O Proterozóico da zona de Ossa-Morena no Alentejo*.
- Gonçalves, T. D., & Gomes, M. I. (2012). *Construção de terra crua: potencialidades e questões em aberto*. LNEC.
- Guillaud, H., Joffroy, T., & Odul, P. (1985). *Compressed earth blocks: Manual of design and construction* (Vols. II - Manual of design and construction).
- Guillaud, H., Joffroy, T., & Odul, P. (s.d.). *Blocs de terre comprimée- Manuel de conception et de construction* (Vol. II). França: CRATerre EAG.
- Gutiérrez, R., & Mujica, J. *The Calcium Hydroxide and compressed earth blocks, an alternative and sustainable construction*. Nova scientia, Vol.5 n.9 León Abr. 2013
- Houben, H., & Guillaud, H. (1989). *Traité de Construction en Terre* (Vol. Volume 1). Marseille: CRATerre EAG, Parenthèses.
- Hunter, K., & Kiffmeyer, D. (2012). *Earthbag building - The tools, tricks and techniques*.
- Jalali, S., & Eires, R. (2008). *Inovações científicas de construção em terra crua*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.
- Lima, F. X. (2013). *Blocos de Terra Compactada de solo-cimento com resíduo de argamassas de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações*. Tese de Doutoramento, Universidade de Brasília, Faculdade de arquitetura e urbanismo
- Lima, J., Silva, S., Faria, P.(2016). *Rebocos de terra: Influência da adição de óleo de linhaça e comparação com rebocos convencionais*. Lisboa
- Little, B., & Morton, T. (2011). *Building with earth in Scotland: Innovative design and sustainability*.
- Litvin, N. R. (s.d.). *Manual Básico de Ecotecnias - Un acercamiento a las Ecotecnias y buenos habitos*.
- Lopes, V. (2012). *Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de sisal em BTC*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro.

- (s.a)(2006). *Manual de Bloques de Tierra Comprimida*. Universidade da República, Faculdade de Arquitectura, Uruguai.
- Mansour, M. B., et al., *Influence of compaction pressure on the mechanical and acoustic properties of compacted earth blocks: An inverse multi-parameter acoustic problem*. Elsevier, Volume 125, October 2017, pag. 128-135
- Martins, R.V.(1996). *Aplicações industriais de natas resultantes da industria transformadora de rochas ornamentis carbonatdas*. Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Aveiro.
- Martins, V. M. (2011). *Alvenaria de Solo-Cimento para moradias unifamiliares em Angola*. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Mateus, R. (2004). *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Braga.
- Meneses, T. (2010). *Estudo do comportamento térmico de construções em alvenaria de adobe*. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Minke, G. (2013). *Building with Earth - Design and technology of a sustainable architecture* (3ª ed.). Basileia, Suíça.
- Morales, G. A. (2016). *Evaluacion Experimental de los parametros de diseño de mampostéria elaborada con bloques de tierra compactada (BTC)*. Universidade de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingenieria, Guatemala.
- Morel, J.C., Pkla, A., Walker, P., *Compressive strength testing of compressed earth blocks*. Elsevier, Construction and Building Materials, Vol. 21, Fev. 2007, Pag. 303-309
- Nagaraj, H.B., et al., *Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks*. International Journal of Sustainable Built Environment, Vol. 3, Jun. 2014, Pag.54-61
- Neves, C. (2006). *BTC - BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA. VI Seminário de Arquitectura em Terra em Portugal*. Minas Gerais.
- Neves, C., & Faria, O. B. (2011). *Talleres Proterra - Instructivo para la organizacion*. Bauru - S.P.



- Neves, C., & Faria, O. B. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. Bauru - S.P.: Proterra.
- Neves, C., Faria, O. B., Salas, P. C., Rotondaro, R., & Hoffman, M. V. (2010). *Seleção de solos e métodos de controlo na construção com terra. Prática de campo*.
- Nunes, U. d. (2013). *Caracterização do comportamento estrutural de uma casa em BTC*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Civil, Aveiro.
- Oliveira, J. V. (2014). *Comportamento mecânico de blocos de terra compactada activados alcalinamente*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga.
- Peña, F., & Lourenço, P. B. (s.d.). *Estruturas em terra: Comportamento e Patologias*. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- Peñafiel, J. C. (2013). *Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia*. Universitat Politecnica de Catalunya.
- Pereira, J. P. (2013). *Análise do comportamento térmico de paredes de taipa*. Universidade de Évora, Évora.
- Pinho, F. F. (2011). *Paredes de Edifícios Antigos em Portugal*. Lisboa: LNEC.
- Pinto, C. (2006). Curso Básico de mecânica dos solos em 16 aulas - 3ª edição. Em O. d. textos (Ed.). São Paulo.
- Pinto, R. N. (2013). *Caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu*. Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu.
- Ponte, M. M. (2012). *Arquitetura de terra : o desenho para a durabilidade das construções*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Arquitectura, Coimbra.
- Rigassi, V. (1985). *Compressed earth blocks: Manual of production* (Vols. : - Manual of production).

- Rigassi, V. (s.d.). *Blocs de terre comprimée - Manuel de production* (Vol. I). França: CRATerre-EAG.
- Rodrigues, P. F. (2003). *Argamassas para construção em terra crua - Patologias associadas e formas de as minorar*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Caparica.
- Rodrigues, P. F. (2004). *Compatibilidade entre as paredes e respectivos revestimentos*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Caparica.
- Rodrigues, P. F. (s.d.). *A problemática dos revestimentos de paredes em construção em terra crua*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Caparica.
- Sandoval, F. J., & Guerra, J. L. (2010/2011). Construcción con Tierra - Tecnologia y arquitectura. *Características mecânicas del BTC. Estudio de los ensaios a compresión*.
- Santana, T., & Rodrigues, P. F. (s.d.). *Ensaaios de caracterização laboratorial de solos com vista à sua utilização em arquitectura de terra crua*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica, Lisboa.
- Silva, R. A., Oliveira, D. V., Miranda, T., Soares, E., Cristelo, N., & Lourenço, P. (2014). *Caracterização do comportamento ao corte de alvenaria de blocos de terra compactada com junta seca*. 9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental, (pp. 101-111). Aveiro.
- Torgal, F., & Jalali, S. (2011). O renascimento da Construção com alvenaria de terra. *Engenharia - Materiais*.
- Torgal, F., Eires, R. M., & Jalali, S. (2009). *A Construção em Terra*. Universidade do Minho, Guimarães: TecMinho.
- Viejo, J. L., & Fernández, M. L. (s.d.). *Construcción con Tierra - Deconstrucción y Ejecución de una vivienda unifamiliar aislada utilizando técnicas de construcción con tierra*.
- Waziri, R.A., et al. (2013) *Properties of Compressed Stabilized Earth Blocks (CSEB) for Low-Cost Housing Construction: A Preliminary Investigation*. International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology. Nigeria, 5 Nov., 2013, Vol 4, n.2.

## **Normas Técnicas e outras**

LNEC. (1966). E 195-1966. *Solos - Preparação por via seca de amostras para ensaios de identificação.*

LNEC. (1966). E 197-1966. *Solos - Ensaio de Compactação.*

LNEC. (1967). E 200-1967. *Solos - Ensaio de Expansibilidade.*

LNEC. (1968). E 218-1968. *Prospecção Geotécnica de terrenos - Colheita de amostras.*

LNEC. (1970). E 239-1970. *Solos - Análise Granulométrica por peneiração húmida.*

Norma Brasileira - NBR 8491. (Abril de 1984). *Tijolo maciço de solo-cimento.*

Norma Brasileira - NBR 8492. (Abril de 1984). *Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e absorção d'água.*

Norma Espanhola - UNE 41410. (Dezembro de 2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones. Especificaciones y métodos de ensayo.*

Norma Técnica Colombiana - NTC 5324. (1 de Dezembro de 2004). *Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.*

NP. (2002). EN 722-1. *Métodos de ensaio de blocos para alvenaria. Determinação de resistência à compressão. Parte 1.*

NP. (1953). E 16-1953. *Solos - Determinação do teor em água.*

NP. (1969). EN 143-1969. *Solos - Determinação dos limites de consistência.*

Standards Australian - HB 195. (2001). *The Australian Earth Building Handbook.*



---

## **Anexos**

---

## 1. Ensaio de matéria orgânica

Tabela 24 - Resultados obtidos do ensaio de determinação do teor de matéria orgânica no solo

No.	Weight [mg]	Name	Method	NArea	CArea	HArea	SArea	N [%]	<b>C [%]</b>	H [%]	S [%]	N Factor	C Factor	H Factor	S Factor	N Blank	C Blank	H
1	1 000	RunIn	Blank with O2	0	14605	8971	18	0	282	7 797	0,38	10 000	10 000	10 000	10 000	0	0	
2	1 000	RunIn	Blank with O2	0	245	724	26	0	4,69	0,749	0,56	10 000	10 000	10 000	10 000	0	0	
3	1 000	RunIn	Blank with O2	0	210	652	33	0	4,02	0,675	0,71	10 000	10 000	10 000	10 000	0	0	
4	1 000	Blank	Blank without O2	0	235	600	28	0	0	0	0	10 000	10 000	10 000	10 000	0	235	
5	1 000	Blank	Blank without O2	0	234	532	42	0	0	0	0	10 000	10 000	10 000	10 000	0	234	
6	14 720	mos	Blank without O2	0	1883	11728	6	0	3,19	0,698	0,04	10 000	13 347	10 000	49 318	0	0	
7	15 622	mos	Soil50sAr	183	2548	12228	37	0,27	3,19	0,687	0,04	14 703	10 467	10 000	0,8471	0	0	
8	16 063	mos	Soil50sAr	168	2506	12198	34	0,27	3,19	0,666	0,04	16 462	10 946	10 000	0,9336	0	0	
9	13 688	mos	Soil50sAr	180	2109	12571	24	0,27	3,19	0,807	0,04	13 055	11 097	10 000	11 494	0	0	
10	19 845	JC1 1	Soil50sAr	176	1011	17806	19	0,21	<b>1,11</b>	0,799	0,04	14 740	11 464	10 000	19 655	0	0	
11	19 034	JC1 2	Soil50sAr	43	1022	16819	21	0,05	<b>1,17</b>	0,785	0,05	14 740	11 464	10 000	19 655	0	0	
12	18 622	JC1 2	Soil50sAr	27	1003	16165	13	0,03	<b>1,17</b>	0,77	0,03	14 740	11 464	10 000	19 655	0	0	
13	18 783	JC1 2	Soil50sAr	47	992	16261	17	0,06	<b>1,15</b>	0,768	0,04	14 740	11 464	10 000	19 655	0	0	
14	14 957	mos	Soil50sAr	133	2127	10907	35	0,27	3,19	0,637	0,04	19 318	12 027	10 000	0,8497	0	0	
15	1 000	Blank	Soil50sAr	0	0	0	0	0	0	0	0	19 318	12 027	10 000	0,8497	0	0	
16	0			0	0	0	0	0	0	0	0	19 318	12 027	10 000	0,8497	0	0	

## 2. Teor em água do solo em estado natural

Tabela 25 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do teor em água do solo no estado natural

Cápsulas		1	2
m1	PESO DA CÁPSULA (g)	106,23	120,27
m2	PESO DA CÁPSULA + SOLO HÚMIDO (g)	211,09	228,61
m3	PESO DA CÁPSULA + SOLO SECO (g)	208,01	225,35
$W_s = m3 - m1$	PESO DO SOLO SECO (g)	101,78	105,08
$W_w = m2 - m3$	PESO DA ÁGUA (g)	3,08	3,26
$W_w / W_s \times 100$	TEOR EM ÁGUA (%)	3,03	3,10

## 3. Análise granulométrica

Tabela 26 - Resultados obtidos através do ensaio de análise granulométrica por via húmida

Peneiro		P. da cáp	Cáp + Solo ret	Peso ret.	Retido	Ret. Ac.	Passa.Ac.
ASTM	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"	38,1			0	0	0	100,00
1"	25,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,000			0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,500			0,00	0,00	0,00	100,00
4	4,750	87,70	94,61	6,91	1,64	1,64	98,36
10	2,000	105,49	144,66	39,17	9,31	10,95	89,05
20	0,850	118,22	195,25	77,03	18,31	29,26	70,74
40	0,425	97,79	165,73	67,94	16,15	45,41	54,59
60	0,250	88,20	129,71	41,51	9,87	55,28	44,72
140	0,106	193,54	245,23	51,69	12,29	67,56	32,44
200	0,075	204,87	222,39	17,52	4,16	71,73	28,27
Fundo				0,00	0,00	71,73	28,27

Peso inicial (g) 420,71

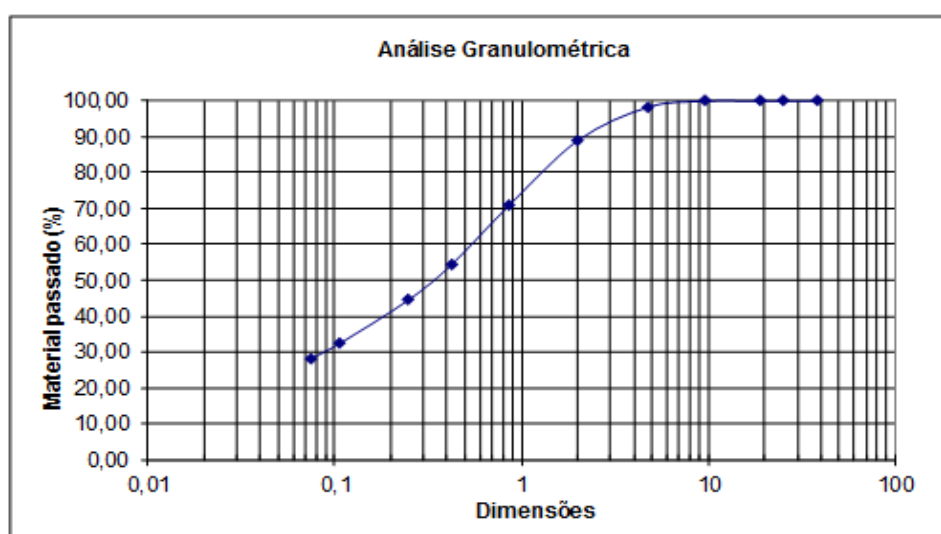


Figura 79 - Curva Granulométrica resultante do ensaio de análise granulométrica por via húmida

Micromeritics

WIN5100 V2.01

Unit 1

S/N 2681

Page 1

Sample: 000-295  
 Operator: Luiseta  
 Submitter:  
 File Name: C:\PROGRA~1\WIN5100\DATA1\000-295.SMP  
 Material/Liquid: solos/Water

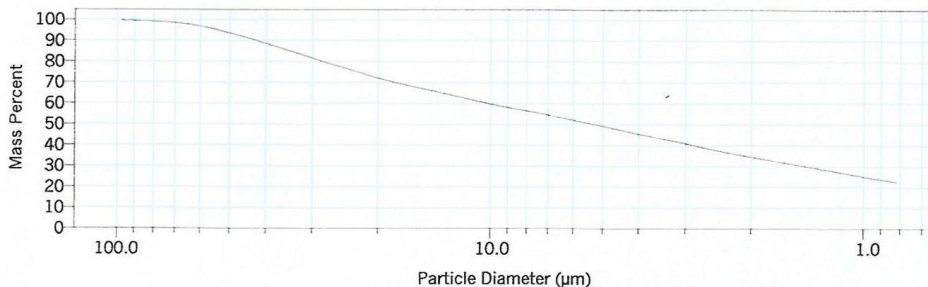
Test Number: 2  
 Analyzed: 31-10-16 10:48:42  
 Reported: 21-11-16 11:26:35  
 Liquid Visc: 0.7081 cp  
 Analysis Temp: 36.0 °C  
 Full Scale Mass: 100.0%

Analysis Type: Standard  
 Run Time: 0:04 hrs:min  
 Sample Density: 2.700 g/cm<sup>3</sup>  
 Liquid Density: 0.9937 g/cm<sup>3</sup>  
 Base/Full Scale: 141 / 73 KCnts/s  
 Reynolds Number: 1.84

Report by Size Table

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (2 tests)
150.0	100.0	122.5	99.9	0.0	0.2
100.0	50.00	70.71	93.8	6.1	0.2
50.00	20.00	31.62	72.2	21.6	0.7
20.00	10.00	14.14	59.8	12.3	0.0
10.00	5.000	7.071	49.2	10.6	0.0
5.000	2.000	3.162	34.6	14.6	0.4
2.000	1.000	1.414	25.2	9.4	0.9

Cumulative Finer Mass Percent vs. Diameter



Mass Frequency vs Diameter

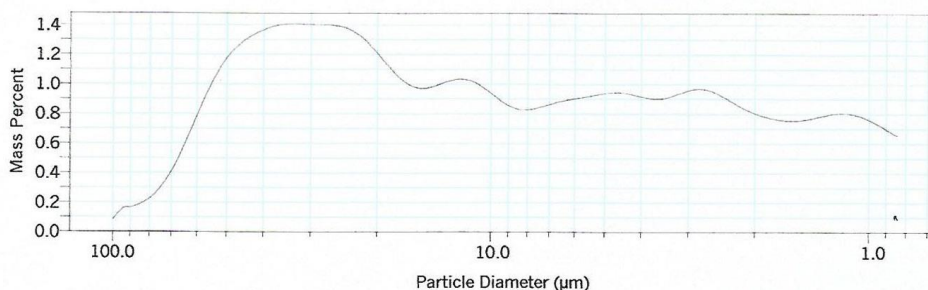


Figura 80 - Ficha resultante do ensaio de sedimentação, através do Sedigraph



## 4. Determinação dos Limites de Consistência

### 4.1) Limite de Liquidez

Tabela 27 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de liquidez

		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido	53,83	56,94	51,45	52,47		
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	52,26	55,24	50,54	51,6		
C = A - B	P. da água (g)	1,57	1,70	0,91	0,87		
D	P. da Cápsula	47,24	49,67	47,51	48,56		
E = B - D	P. do solo seco (g)	5,02	5,57	3,03	3,04		
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	31,27	30,52	30,03	28,62		
P	Número de Golpes	17	23	28	38		
W <sub>L</sub>	Limite de Liquidez	30					

### 4.2) Limite de Plasticidade

Tabela 28 - Resultados obtidos através do ensaio de determinação do limite de plasticidade

		1	2	3	4	5	6
A	P. da cápsula + Solo húmido	51,49	48,48	49,55	52,76		
B	P. da cápsula + Solo seco (g)	51,17	48,29	49,35	52,38		
C = A - B	P. da água (g)	0,32	0,19	0,20	0,38		
D	P. da Cápsula	49,88	47,52	48,55	50,86		
E = B - D	P. do solo seco (g)	1,29	0,77	0,80	1,52		
W=100 x C/E	Teor de Humidade (%)	24,81	24,68	25,00	25,00		
W <sub>P</sub>	Limite de Plasticidade	25					

### 4.3) Índice de Plasticidade

$$IP = (WL - WP) = 30 - 25 = 5$$

## 5. Expansibilidade do solo

Tabela 29 - Resultado obtidos através do ensaio de expansibilidade do solo

Tempo	Div	Exp. (%)	Tempo	Div	Exp. (%)
**			0 min		
**			2 h		
0 min	1,67	0,000	4 h		
1 min	1,61	-0,400	6 h		
2 min	1,78	0,733	8 h		
3 min	1,85	1,200	10 h		
4 min	1,89	1,467	12 h		
5 min	1,92	1,667	14 h		
10 min	2,02	2,333	16 h		
15 min	2,05	2,533	18 h		
30 min	2,09	2,800	20 h		
45 min	2,10	2,867	22 h		
1 h	2,11	2,933	24 h		
2 h	2,11	2,933	2 h		
4 h	2,11	2,933	4 h		
6 h	2,11	2,933	6 h		
8 h	2,11	2,933	8 h		
10 h	2,11	2,933	10 h		
12 h	2,11	2,933	12 h		
14 h			14 h		
16 h			16 h		
18 h			18 h		
20 h			20 h		
22 h			22 h		
24 h			24 h		

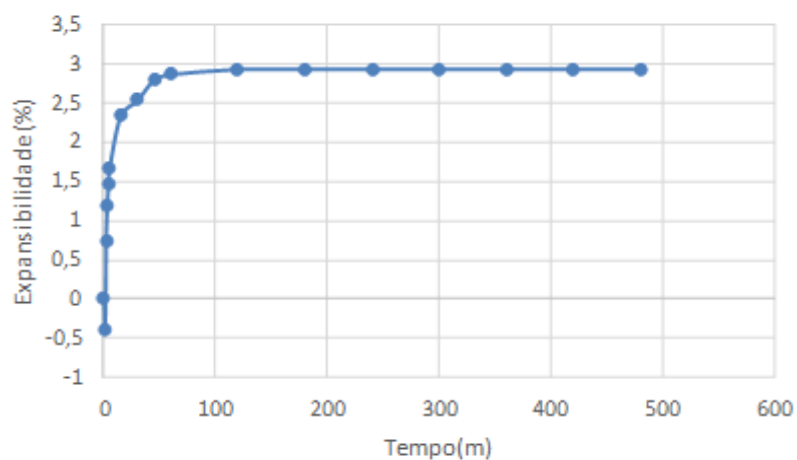


Figura 81 - Apresentação gráfica dos resultados obtidos através do ensaio de expansibilidade do solo

## 6. Ensaio de Compactação – Proctor

Tabela 30 - Resultados obtidos através do ensaio de compactação – Proctor

Peso do molde (g)	Volume do molde (cm <sup>3</sup> )
1723	938,88

Peso do molde (g)	1723	1723	1723	1723	1723
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	938,88	938,88	938,88	938,88	938,88
Molde + Solo humido (g)	3727,11	3810,49	3836,88	3797,73	3749,58
Solo humido (g)	2004,11	2087,49	2113,88	2074,73	2026,58
Baridade humida (g/cm <sup>3</sup> )	2,13	2,22	2,25	2,21	2,16
Baridade sêca (g/cm <sup>3</sup> )	1,96	2,00	2,02	1,93	1,87

Cápsula N°	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12
Peso da cápsula (g)	99,6	98,56	119,6	98,06	119,2	119,6	120,1	117,5	104,9	100,2
Solo Humido + Cap. (g)	209	237,1	257,8	242	232,6	263,2	268,7	251,8	247,3	239,5
Solo Sêco + Cap. (g)	200	225,9	244,2	227,8	220,8	248	250,2	235,1	228	220,8
Peso de Água (g)	8,8	11,24	13,6	14,14	11,78	15,24	18,5	16,74	19,29	18,73
Solo Seco (g)	101	127,3	124,6	129,8	101,6	128,4	130	117,6	123,1	120,6
Teor em água (%)	8,75	8,83	10,92	10,90	11,59	11,87	14,23	14,23	15,67	15,53
Teor em água médio (%)	8,79		10,91		11,73		14,23		15,60	

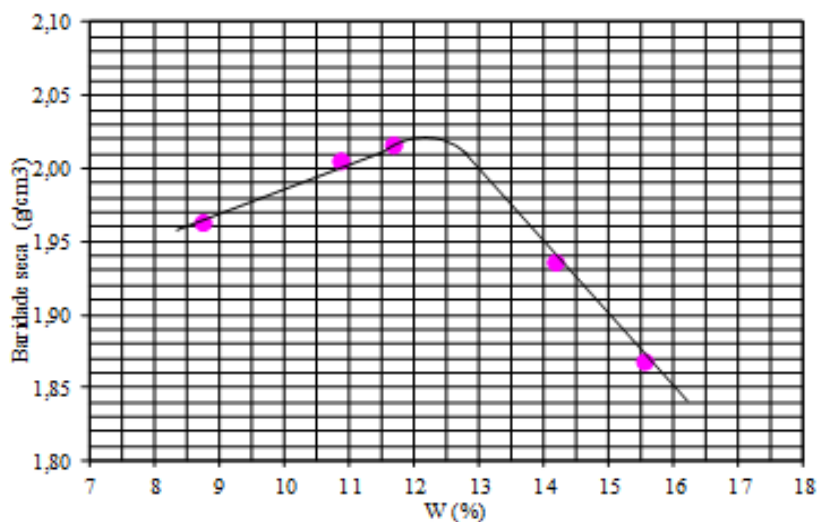


Figura 82 - Apresentação gráfica dos resultados obtidos através do ensaio de compactação

## 7. Difraccção de Raios-X – Caracterização mineralógica

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

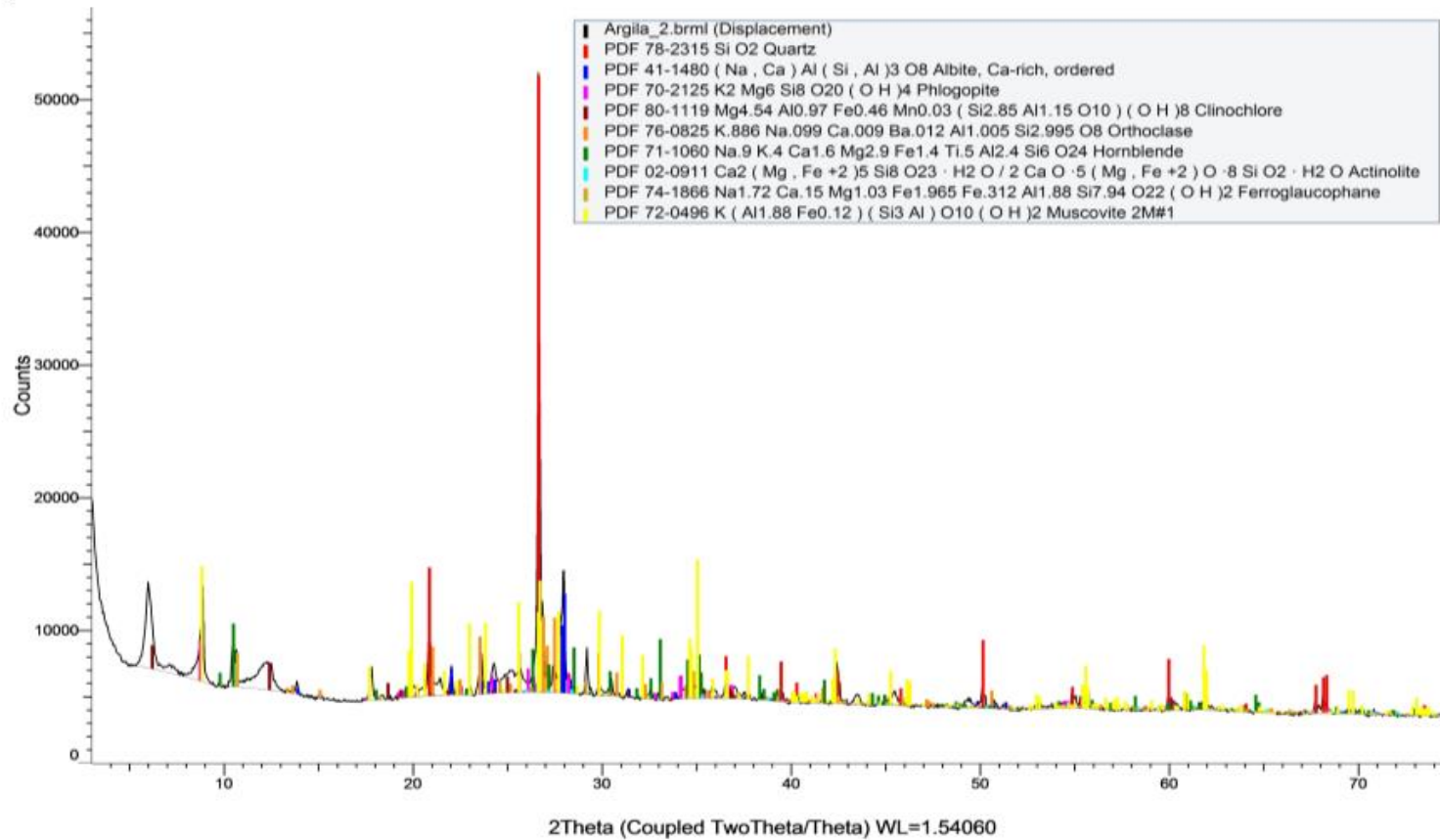




















Figura 83 - Difractograma obtido através da difracção de Raios-X

## Pattern List #11

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 78-2315	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 78-2315
Yes			1	PDF 41-1480	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 41-1480
Yes			2	PDF 70-2125	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 70-2125
Yes			3	PDF 80-1119	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 80-1119
Yes			4	PDF 76-0825	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 76-0825
Yes			5	PDF 71-1060	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 71-1060
Yes			6	PDF 02-0911	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 02-0911
Yes			7	PDF 74-1866	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 74-1866
Yes			8	PDF 72-0496	Pattern List#11	Argila_2.brml (Displacement) #1	PDF 72-0496

Compound Name	Formula	Quality
Quartz	Si O <sub>2</sub>	Calculated
Albite, ordered Ca-rich,	(Na, Ca) Al (Si, Al) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Indexed
Phlogopite	K <sub>2</sub> Mg <sub>6</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>	Calculated
Clinocllore	Mg <sub>4.54</sub> Al <sub>0.97</sub> Fe <sub>0.46</sub> Mn <sub>0.03</sub> (Si <sub>2.85</sub> Al <sub>1.15</sub> O <sub>10</sub> ) (OH) <sub>8</sub>	Calculated
Orthoclase	K <sub>0.886</sub> Na <sub>0.099</sub> Ca <sub>0.009</sub> Ba <sub>0.012</sub> Al <sub>1.005</sub> Si <sub>2.995</sub> O <sub>8</sub>	Calculated
Hornblende	Na <sub>0.9</sub> K <sub>0.4</sub> Ca <sub>1.6</sub> Mg <sub>2.9</sub> Fe <sub>1.4</sub> Ti <sub>0.5</sub> Al <sub>2.4</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub>	Calculated
Actinolite	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe +2) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>23</sub> · H <sub>2</sub> O / 2 Ca O · 5 (Mg, Fe +2) O · 8 Si O <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	Blank
Ferroglaucophane	Na <sub>1.72</sub> Ca <sub>0.15</sub> Mg <sub>1.03</sub> Fe <sub>1.965</sub> Fe <sub>0.312</sub> Al <sub>1.88</sub> Si <sub>7.94</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	Calculated
Muscovite 2M#1	K (Al <sub>1.88</sub> Fe <sub>0.12</sub> ) (Si <sub>3</sub> Al) O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	Calculated

Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q	Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System
99.5408 %	3.100		20.00 %		1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal
16.0381 %	1.060		9.42 %		1.0000	Yes	1.54060	Triclinic
6.5567 %	0.660		6.19 %		1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic
4.3789 %	0.680		4.01 %		1.0000	Yes	1.54060	Triclinic
12.2492 %	0.580		13.16 %		1.0000	Yes	1.54060	Triclinic
10.1720 %	0.620		10.22 %		1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic
0.7651 %	(1)		0.48 %		1.0000	Yes	1.54060	
5.5761 %	1.400		2.48 %		1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic
22.4061 %	0.410		34.04 %		1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic

Figura 84 - Ficha resultante do ensaio de caracterização mineralógica do solo.

## 8. Absorção de água por capilaridade

### 8.1 Provetes sem adições

Tabela 31 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes sem adições.

Tempo(m)	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	420	1440	2880
	Coeficiente de Absorção (%)												
Naturais	39,95	36,30	33,35	31,78	29,73	29,40	20,81	18,32	16,61	15,34	14,37	7,76	5,46
	55,99	47,67	43,41	37,61	33,05	24,97	21,17	18,55	16,85	15,49	14,36	7,89	5,58
	48,18	41,50	39,11	34,67	32,27	25,69	21,67	18,82	17,16	15,97	14,79	8,11	5,72
	Absorção de água (%)												
Naturais	5,09	6,54	7,36	9,92	13,13	18,36	15,92	16,17	16,40	16,59	16,79	16,79	16,71
	7,68	9,25	10,31	12,63	15,70	16,77	17,42	17,63	17,90	18,02	18,05	18,36	18,38
	6,31	7,69	8,87	11,13	14,64	16,49	17,04	17,08	17,41	17,76	17,76	18,02	17,97

## 8.2 Provetes com adição de cal aérea

Tabela 32 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de cal aérea

Tempo(m)	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	420	1440	2880
	Coeficiente de Absorção (%)												
Cal 7%	64,91	54,39	49,33	41,66	33,38	24,11	19,82	16,93	15,20	13,92	12,88	7,30	5,27
	60,96	52,46	48,20	41,30	33,56	24,33	19,82	16,99	15,22	14,00	13,02	7,28	5,28
	57,92	50,21	46,23	40,36	33,53	23,90	20,13	16,96	15,48	14,18	13,09	7,32	5,28
Cal 10%	22,64	25,97	26,45	24,50	21,12	17,26	14,96	13,10	12,08	11,15	10,34	5,80	4,16
	20,13	23,46	24,97	24,44	20,93	16,94	14,88	13,17	12,18	11,44	10,70	6,23	4,54
	16,80	18,54	19,00	18,33	16,08	13,79	12,34	11,34	10,57	9,92	9,47	5,85	4,22
Cal 13%	18,88	31,92	33,41	31,23	26,70	21,50	18,22	15,74	14,12	12,93	12,10	6,71	4,76
	19,53	24,59	27,15	26,92	23,85	19,64	16,92	14,96	13,53	12,49	11,59	6,40	4,56
	24,89	26,83	30,62	32,50	28,86	22,65	19,06	16,30	14,75	13,57	12,57	6,92	4,86
	Absorção de água (%)												
Cal 7%	9,25	10,96	12,17	14,54	16,47	16,83	16,94	16,72	16,78	16,83	16,83	17,64	18,03
	8,60	10,47	11,78	14,28	16,41	16,82	16,79	16,61	16,64	16,77	16,85	17,44	17,89
	8,36	10,25	11,55	14,26	16,76	16,89	17,43	16,96	17,30	17,36	17,32	17,93	18,28
Cal 10%	3,45	5,60	6,99	9,16	11,16	12,90	13,69	13,85	14,28	14,43	14,45	15,02	15,24
	2,77	4,56	5,95	8,23	9,97	11,42	12,28	12,55	12,98	13,35	13,49	14,53	14,99
	2,28	3,56	4,47	6,10	7,57	9,17	10,06	10,67	11,13	11,44	11,78	13,49	13,75
Cal 13%	2,65	6,33	8,11	10,73	12,97	14,76	15,32	15,29	15,34	15,39	15,55	15,96	16,03
	2,76	4,92	6,66	9,33	11,70	13,62	14,37	14,67	14,84	15,00	15,03	15,37	15,50
	3,61	5,50	7,69	11,54	14,49	16,09	16,58	16,37	16,57	16,69	16,70	17,01	16,92

### 8.3 Provetes com adição de cimento

Tabela 33 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de cimento

Tempo(m)	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	420	1440	2880
	Coeficiente de Absorção (%)												
Cimento 7%	40,00	34,95	33,07	29,47	26,43	22,50	18,48	16,08	14,39	13,15	12,18	6,70	4,82
	45,17	39,53	36,98	32,96	29,67	23,07	18,89	16,41	14,70	13,47	12,57	6,96	4,95
	34,51	30,80	29,35	26,26	24,27	22,48	18,70	16,29	14,61	13,41	12,53	6,94	4,94
Cimento 10%	33,44	29,96	28,52	26,35	24,35	21,72	19,21	16,65	14,98	13,70	12,70	7,06	5,05
	38,93	34,98	32,75	29,24	27,02	22,76	18,65	16,26	14,66	13,48	12,49	6,86	4,91
	47,64	41,13	38,21	33,25	29,36	22,83	18,80	16,36	14,82	13,63	12,58	6,96	4,94
Cimento 13%	35,77	32,70	30,92	26,86	24,49	21,18	18,73	16,30	14,84	13,47	12,55	6,88	4,95
	34,33	30,56	28,57	25,39	23,16	19,79	17,81	15,98	14,38	13,49	12,27	6,80	4,83
	34,97	29,53	28,06	24,80	22,58	19,58	17,97	15,98	14,35	13,11	12,25	6,73	4,81
	Absorção de água (%)												
Cimento 7%	5,01	6,19	7,17	9,04	11,47	13,81	13,89	13,96	13,97	13,98	13,98	14,24	14,48
	5,65	6,99	8,01	10,10	12,85	14,14	14,18	14,22	14,24	14,30	14,41	14,77	14,86
	4,29	5,42	6,32	8,00	10,46	13,70	13,96	14,04	14,08	14,16	14,28	14,64	14,74
Cimento 10%	4,10	5,20	6,06	7,92	10,35	13,06	14,14	14,15	14,24	14,27	14,29	14,70	14,86
	4,84	6,15	7,05	8,91	11,64	13,87	13,91	14,01	14,12	14,22	14,23	14,48	14,65
	6,00	7,33	8,34	10,26	12,82	14,09	14,21	14,28	14,47	14,57	14,53	14,88	14,95
Cimento 13%	4,47	5,78	6,70	8,23	10,61	12,98	14,06	14,13	14,38	14,30	14,38	14,61	14,85
	4,17	5,25	6,02	7,56	9,75	11,79	12,99	13,47	13,55	13,92	13,67	14,03	14,09
	4,40	5,25	6,11	7,64	9,84	12,07	13,56	13,93	13,98	13,99	14,12	14,37	14,53



## 8.4 Provetes com adição de cinzas volantes

Tabela 34 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de cinzas volantes

Tempo(m)	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	420	1440	2880
	Coeficiente de Absorção (%)												
Cinzas Volantes 7%	31,37	28,98	28,01	26,20	24,88	23,11	19,05	16,60	14,89	13,63	12,66	7,01	5,04
	32,54	29,99	28,92	27,35	26,25	24,83	19,64	17,25	15,48	14,06	13,08	7,28	5,23
	35,35	31,90	30,53	28,62	27,20	24,03	19,88	17,26	15,52	14,14	13,12	7,17	5,27
Cinzas Volantes 10%	32,84	31,11	30,46	29,53	28,63	25,88	22,23	19,69	17,92	16,55	15,41	8,51	6,12
	34,10	32,30	31,44	30,15	29,26	26,40	22,64	19,89	17,88	16,48	15,51	8,45	6,10
	33,76	32,20	31,25	29,74	28,96	26,42	22,52	19,98	18,01	16,66	15,54	8,64	6,15
Cinzas Volantes 13%	46,35	42,23	40,12	36,83	33,24	24,06	19,71	17,29	15,60	14,10	13,16	7,25	5,26
	39,31	36,20	34,83	32,64	31,23	24,07	19,73	17,39	15,60	14,22	13,26	7,32	5,34
	39,29	36,23	34,47	32,38	31,06	24,53	20,07	17,59	15,85	14,41	13,48	7,46	5,43
	Absorção de água (%)												
Cinzas Volantes 7%	4,04	5,29	6,26	8,27	11,11	14,60	14,74	14,83	14,87	14,91	14,97	15,33	15,59
	4,11	5,36	6,33	8,46	11,48	15,36	14,88	15,09	15,14	15,06	15,14	15,61	15,84
	4,52	5,77	6,76	8,97	12,05	15,06	15,26	15,30	15,38	15,35	15,38	15,56	16,19
Cinzas Volantes 10%	4,12	5,53	6,63	9,08	12,45	15,92	16,75	17,13	17,43	17,63	17,73	18,14	18,46
	4,36	5,84	6,96	9,44	12,95	16,53	17,36	17,61	17,69	17,87	18,17	18,32	18,72
	4,25	5,74	6,82	9,18	12,63	16,30	17,02	17,43	17,57	17,80	17,93	18,46	18,59
Cinzas Volantes 13%	6,17	7,95	9,25	12,01	15,33	15,69	15,74	15,94	16,09	15,93	16,05	16,37	16,82
	5,15	6,70	7,90	10,47	14,16	15,44	15,50	15,78	15,82	15,80	15,91	16,26	16,77
	5,15	6,71	7,82	10,39	14,10	15,74	15,77	15,97	16,09	16,03	16,19	16,59	17,08

## 8.5 Provetes com adição de pó de mármore

Tabela 35 - Determinação das percentagens referente ao coeficiente de absorção e absorção de água, para os provetes com adição de pó de mármore

Tempo(m)	5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	420	1440	2880
	Coeficiente de Absorção (%)												
Pó de Mármore 7%	39,06	37,15	35,51	33,54	32,32	27,38	23,64	20,71	18,90	17,57	16,38	8,98	6,44
	41,26	38,87	37,63	34,93	33,83	28,13	23,82	20,94	18,97	17,56	16,36	9,05	6,49
	41,26	38,59	36,61	33,73	33,00	27,24	23,19	20,15	18,50	17,02	15,93	8,85	6,27
Pó de Mármore 10%	42,58	40,09	38,32	36,46	36,02	28,29	23,56	20,92	18,95	17,74	16,43	8,98	6,49
	47,59	45,89	44,33	41,24	40,69	31,65	26,43	23,04	20,74	19,20	17,53	9,59	6,87
	51,30	48,19	46,07	43,05	40,71	30,02	25,44	22,22	20,28	18,43	17,32	9,53	6,87
Pó de Mármore 13%	33,64	31,82	29,95	29,07	27,30	24,84	21,27	18,66	16,83	15,82	14,84	8,27	5,93
	32,77	31,16	29,18	27,41	25,83	24,81	21,34	18,85	17,11	15,75	14,83	8,09	5,88
	36,72	35,60	33,20	30,28	29,59	25,63	21,74	19,02	17,07	15,85	14,75	8,15	5,78
	Absorção de água (%)												
Pó de Mármore 7%	4,95	6,66	7,80	10,42	14,20	17,01	17,99	18,20	18,57	18,91	19,04	19,32	19,60
	5,11	6,81	8,08	10,61	14,53	17,09	17,72	17,98	18,22	18,48	18,58	19,05	19,29
	5,20	6,88	7,99	10,41	14,41	16,82	17,54	17,60	18,06	18,21	18,40	18,92	18,98
Pó de Mármore 10%	5,63	7,50	8,78	11,82	16,51	18,34	18,71	19,18	19,42	19,92	19,93	20,17	20,62
	6,20	8,46	10,01	13,17	18,37	20,21	20,67	20,80	20,94	21,24	20,94	21,20	21,47
	6,87	9,13	10,69	14,12	18,88	19,69	20,44	20,61	21,03	20,94	21,26	21,65	22,07
Pó de Mármore 13%	4,28	5,72	6,60	9,06	12,03	15,48	16,24	16,45	16,59	17,08	17,30	17,86	18,10
	4,05	5,45	6,25	8,30	11,06	15,03	15,83	16,15	16,39	16,52	16,80	16,97	17,45
	4,63	6,35	7,25	9,35	12,92	15,83	16,44	16,61	16,67	16,95	17,04	17,43	17,50

## 9. Resistência à compressão

Tabela 36 - Dimensões e pesos dos provetes, sem adições, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão.

Sem adições			
14 dias		28 dias	
Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)
14*14,5	3534,00	14*14,3	3470,00
14*14,5	3600,00	14*14,7	3630,00
14*14,5	3514,00	14*14,3	3520,00
14*14,5	3520,00	14*14,7	3610,00
14*14,0	3569,00	14*14,4	3501,00
14*14,9	3603,00	14*14,6	3465,00
14*14,5	3572,00	14*14,4	3590,00
14*14,4	3620,00	14*14,6	3625,00

Tabela 37 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de cal aérea, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão.

Cal 7%				Cal 10%				Cal 13%			
14 dias		28 dias		14 dias		28 dias		14 dias		28 dias	
Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)
14*14,5	3200,00	14*14,4	3163,20	14*14,3	3209,00	14,5*14	3191,60	14*14,4	3292,00	14*14,5	3169,30
14*14,2	3257,00	14*14,6	3216,80	14*14,4	3246,00	14,5*14	3199,90	14*14,5	3263,00	14*14,5	3224,00
14*14,4	3270,00	14*14,4	3188,40	14*14,7	3244,00	14*14,4	3215,50	14*15,0	3282,00	14*14,3	3269,70
14*14,5	3300,00	14*14,6	3234,20	14,4*14	3214,00	14*14,6	3190,70	14*14,1	3297,00	14*14,7	3290,10
14*14,5	3286,00	14*14,3	3202,40	14*14,4	3610,00	14*14,4	3233,10	14*14,3	3252,00	14*14,5	3297,10
14*14,4	3199,00	14*14,7	3280,40	14*14,6	3245,00	14*14,6	3192,60	14*14,5	3247,00	14*14,5	3319,50
14*14,7	3239,00	14*14,5	3225,00	14*14,3	3242,00	14*14,4	3192,00	14*14,5	3267,00	14*14,4	3239,80
14*14,2	3228,00	14*14,5	3233,80	14*14,5	3215,00	14*14,6	3210,90	14*14,2	3280,00	14*14,6	3303,10

Tabela 38 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de cimento, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão.

Cimento 7%				Cimento 10%				Cimento 13%			
14 dias		28 dias		14 dias		28 dias		14 dias		28 dias	
Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)
14*14,5	3605,00	14*14,6	3560,00	14*14,4	3635,00	14*14,8	3602,00	14*14,4	3770,00	14*14,2	3605,00
14*14,5	3600,00	14*14,4	3550,00	14*14,6	3695,00	14*14,2	3515,00	14*14,6	3795,00	14*14,8	3698,00
14*14,5	3625,00	14*14,4	3615,00	14*14,4	3625,00	14*14,6	3701,00	14*14,4	3725,00	14*14,6	3708,00
14*14,5	3720,00	14*14,6	3618,00	14*14,6	3645,00	14*14,4	3630,00	14*14,6	3815,00	14*14,4	3690,00
14*14,3	3610,00	14*14,5	3610,00	14*14,5	3235,00	14*14,6	3600,00	14*14,5	3755,00	14*14,7	3680,00
14*14,7	3665,00	14*14,5	3555,00	14*14,5	3650,00	14,14,4	3575,00	14*14,5	3815,00	14*14,3	3525,00
14*14,5	3530,00	14*14,5	3595,00	14*14,5	3695,00	14*14,5	3690,00	14*14,3	3645,00	14*14,2	3550,00
14*14,5	3650,00	14*14,5	3610,00	14*14,5	3705,00	14*14,5	3710,00	14*14,7	3640,00	14*14,8	3715,00

Tabela 39 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de cinzas volantes, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão.

Cinzas Volantes 7%				Cinzas Volantes 10%				Cinzas Volantes 13%			
14 dias		28 dias		14 dias		28 dias		14 dias		28 dias	
Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)	Dim. (cm)	Peso (g)
14*14,4	3500,00	14*14,5	3495,00	14*14,6	3585,00	14*14,6	3640,00	14*14,4	3545,00	14*14,5	3525,00
14*14,6	3570,00	14*14,5	3495,00	14*14,4	3490,00	14*14,4	3605,00	14*14,6	3550,00	14*14,5	3545,00
14*14,5	3250,00	14*14,5	3525,00	14*14,4	3465,00	14*14,7	3585,00	14*14,4	3560,00	14*14,4	3520,00
14*14,5	3240,00	14*14,5	3520,00	14*14,6	3535,00	14*14,3	3435,00	14*14,6	3610,00	14*14,6	3565,00
14*14,5	3510,00	14*14,7	3535,00	14*14,4	3555,00	14*14,7	3621,00	14*14,4	3540,00	14*14,6	3488,00
14*14,5	3440,00	14*14,3	3465,00	14*14,6	3614,00	14*14,3	3620,00	14*14,6	3550,00	14*14,4	3490,00
14*14,5	3520,00	14*14,5	3495,00	14*14,4	3620,00	14*14,2	3485,00	14*14,5	3460,00	14*14,2	3475,00
14*14,5	3470,00	14*14,5	3485,00	14*14,6	3615,00	14*14,8	3600,00	14*14,5	3500,00	14*14	3485,00

Tabela 40 - Dimensões e pesos dos provetes, com adição de pó de mármore, obtidos antes da realização do ensaio de determinação da resistência à compressão.

<b>Pó de Mármore 7%</b>				<b>Pó de Mármore 10%</b>				<b>Pó de Mármore 13%</b>			
<b>14 dias</b>		<b>28 dias</b>		<b>14 dias</b>		<b>28 dias</b>		<b>14 dias</b>		<b>28 dias</b>	
<b>Dim. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Dim. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Dim. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Dim. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Dim. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Dim. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>
14*14,5	3650,00	14*14,3	3495,00	14*14,7	3646,00	14*14,5	3560,00	14*14,6	3678,00	14*14,3	3555,00
14*14,5	3645,00	14*14,7	3610,00	14*14,3	3701,00	14*14,5	3650,00	14*14,4	3645,00	14*14,7	3660,00
14*14,4	3697,00	14*14,5	3560,00	14*14,5	3643,00	14*14,4	3530,00	14*14,6	3707,00	14*14,5	3600,00
14*14,5	3699,00	14*14,5	3573,00	14*14,5	3645,00	14*14,6	3545,00	14*14,4	3692,00	14*14,5	3670,00
14*14,6	3715,00	14*14,5	3530,00	14*14,5	3650,00	14*14,4	3565,00	14*14,4	3647,00	14*14,4	3530,00
14*14,2	3719,00	14*14,5	3590,00	14*14,5	3692,00	14*14,6	3580,00	14*14,6	3701,00	14*14,6	3675,00
14*14,5	3675,00	14*14,5	3585,00	14*14,4	3672,00	14*14,5	3600,00	14*14,3	3698,00	14*14,4	3645,00
14*14,5	3655,00	14*14,5	3625,00	14*14,6	3659,00	14*14,5	3640,00	14,5*14	3700,00	14*14,6	3700,00

## 9.1 Provetes sem adições

Tabela 41 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes sem adição.

Sem adições		
Adição	0%	
	14 dias	28 dias
Provete	MPa	MPa
1	1,76	2,08
2	1,83	2,23
3	1,88	2,36
4	1,93	2,36
5	1,97	2,42
6	2,04	2,45
7	2,07	2,54
8	2,14	2,55
Média	1,95	2,37

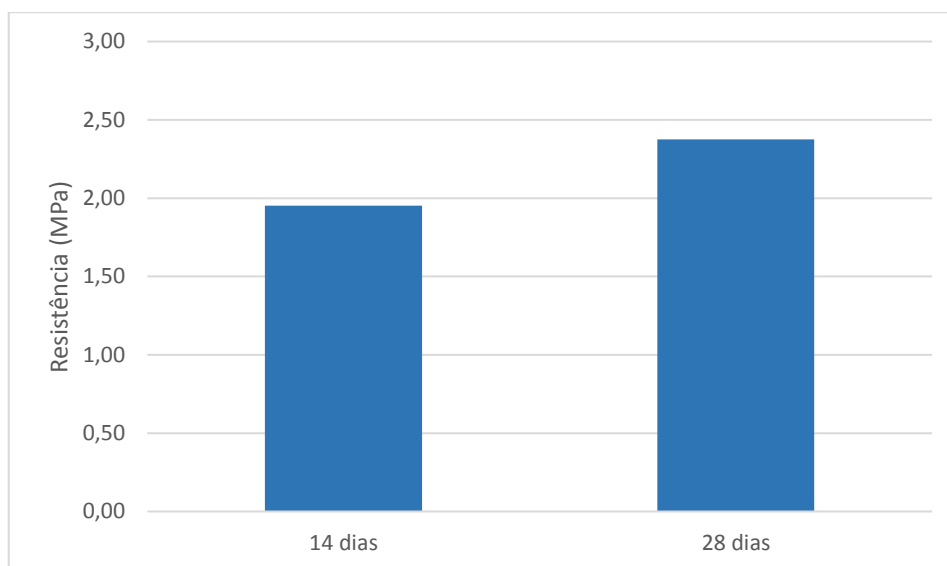


Figura 85 - Gráfico comparativo das resistências médias dos provetes sem adições, ao longo do tempo de cura.

## 9.2 Provetes com adição de cal aérea

Tabela 42 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de cal aérea.

Cal Aérea						
Adição	7%		10%		13%	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
Proвете	MPa	MPa	MPa	Mpa	Mpa	Mpa
1	1,04	1,31	1,55	1,70	1,34	1,67
2	1,11	1,34	1,56	1,71	1,45	1,88
3	1,12	1,37	1,67	1,82	1,47	1,91
4	1,13	1,43	1,71	1,83	1,55	1,93
5	1,15	1,43	1,72	1,92	1,55	1,99
6	1,23	1,44	1,91	1,92	1,65	2,08
7	1,26	1,45	1,94	2,01	1,66	2,09
8	1,31	1,49	2,03	2,13	1,81	2,21
Média	1,17	1,41	1,76	1,88	1,56	1,97

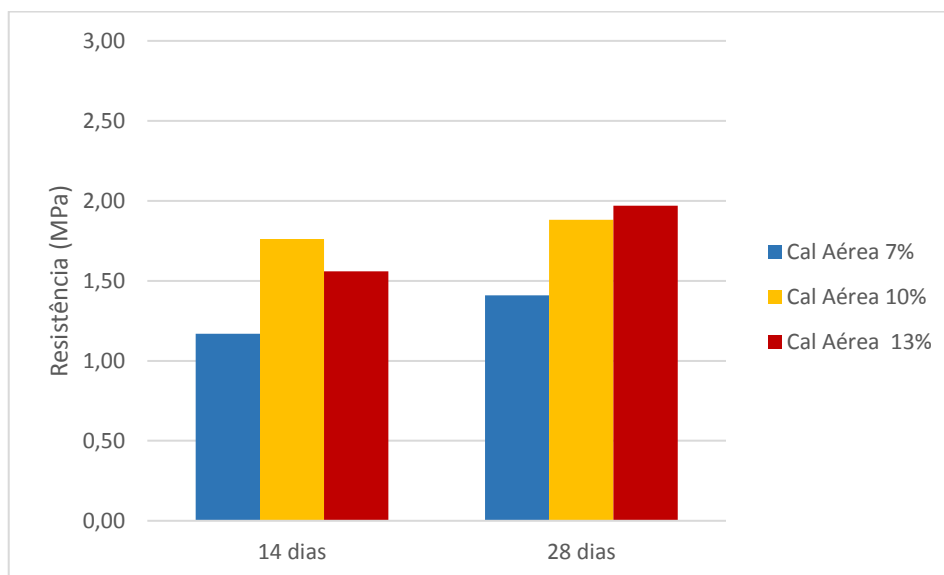


Figura 86 - Gráfico comparativo das resistências médias dos provetes, com diferentes teores de cal aérea incorporada, ao longo do tempo de cura.

### 9.3 Provetes com adição de cimento

Tabela 43 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de cimento.

Cimento						
Adição	7%		10%		13%	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
Provete	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	4,40	4,84	4,94	5,46	6,45	7,17
2	4,42	4,85	4,94	5,52	6,56	7,25
3	4,50	4,88	4,99	5,66	6,75	7,45
4	4,53	4,89	5,15	5,78	6,77	7,46
5	4,67	5,04	5,16	6,03	6,77	7,47
6	4,74	5,12	5,24	6,17	6,93	7,68
7	4,83	5,45	5,34	6,25	7,01	7,76
8	4,87	5,53	5,44	6,28	7,03	7,87
Média	4,62	5,07	5,15	5,89	6,78	7,52

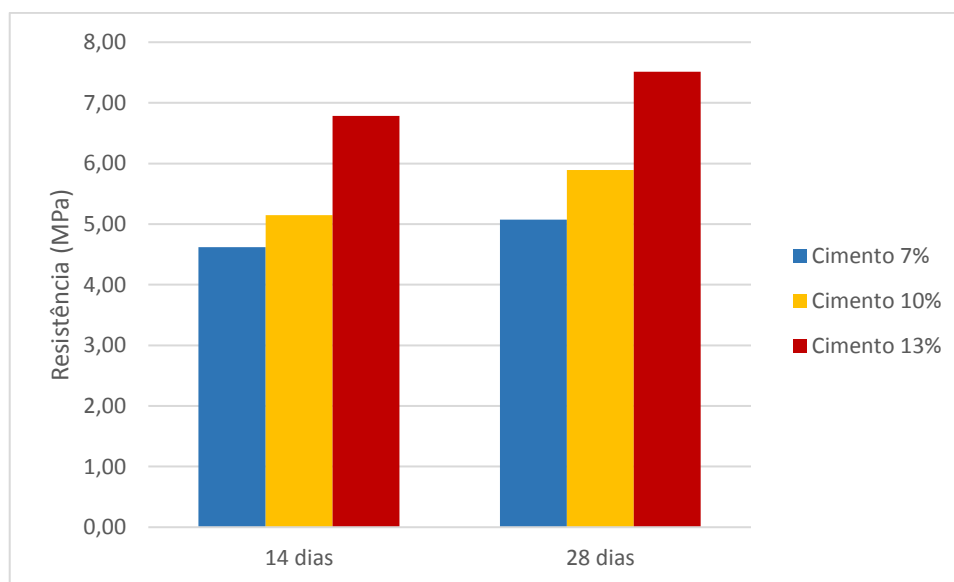


Figura 87 - Gráfico comparativo, das resistências médias dos provetes com diferentes teores de cimento incorporado, ao longo do tempo de cura.



## 9.4 Provetes com adição de cinzas volantes

Tabela 44 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de cinzas volantes.

Cinzas Volantes						
Adição	7%		10%		13%	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
Provete	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	1,59	2,77	1,86	1,96	2,13	2,45
2	1,76	2,82	2,00	2,36	2,14	2,49
3	2,47	2,82	2,17	2,39	2,24	2,56
4	2,56	2,88	2,19	2,50	2,25	2,73
5	2,61	2,89	2,27	2,76	2,32	2,76
6	2,69	2,93	2,32	2,77	2,36	2,77
7	2,72	2,94	2,41	2,83	2,45	2,83
8	2,78	3,12	2,51	2,92	2,53	2,95
Média	2,40	2,90	2,22	2,56	2,30	2,69

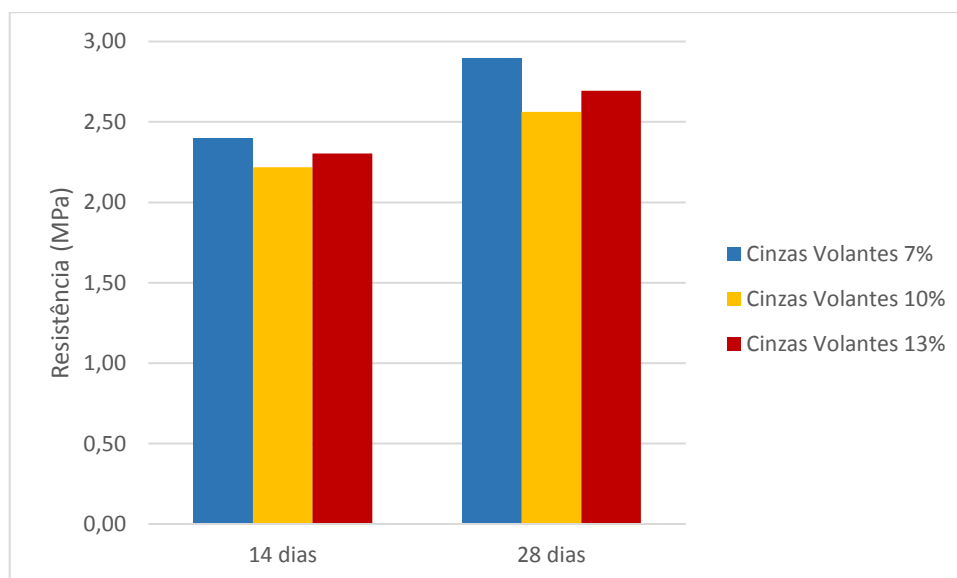


Figura 88 -Gráfico comparativo, das resistências médias dos provetes com diferentes teores de cinzas volantes, ao longo do tempo de cura.

## 9.5 Provetes com adição de pó de mármore

Tabela 45 - Resultado do ensaio de determinação da resistência à compressão, em provetes com adição de pó de mármore.

Pó de Mármore						
Adição	7%		10%		13%	
	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias	14 dias	28 dias
Proвете	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	1,75	2,15	1,80	2,13	2,21	2,49
2	1,84	2,21	1,84	2,20	2,21	2,50
3	1,85	2,21	1,85	2,37	2,24	2,54
4	1,85	2,26	1,85	2,37	2,24	2,61
5	1,89	2,33	1,93	2,40	2,33	2,68
6	1,92	2,34	1,97	2,56	2,34	2,68
7	1,97	2,44	2,00	2,56	2,43	2,77
8	2,00	2,57	2,12	2,66	2,54	2,82
Média	1,88	2,31	1,92	2,41	2,32	2,64

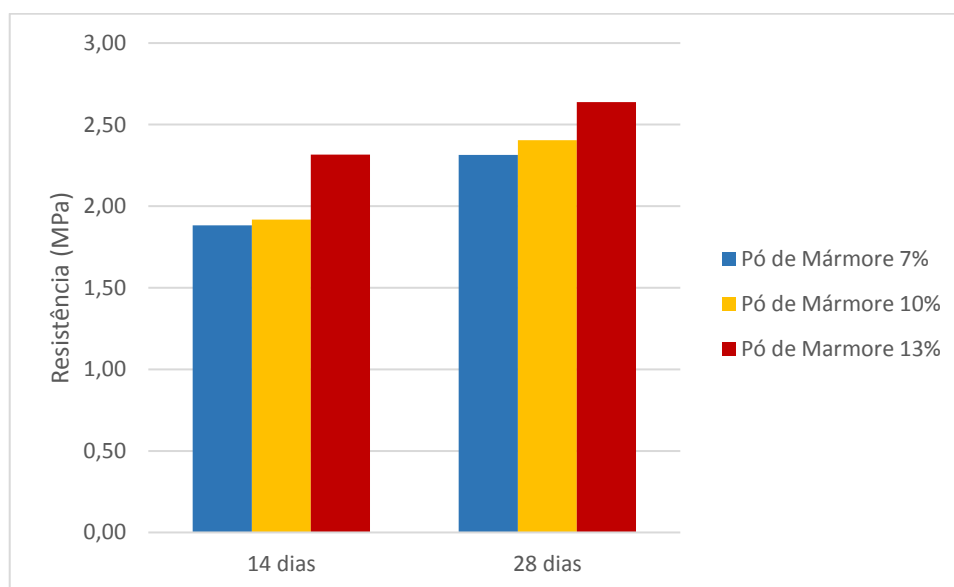


Figura 89 - Gráfico comparativo, das resistências médias dos provetes com diferentes teores de pó de mármore incorporado, ao longo do tempo de cura.