



MARIA VICÊNCIA
TENDEIRO
CALADO
FERREIRA
FONTINHA
EUGÉNIO

**CARACTERIZAÇÃO E
CONTRIBUTO PARA A
CONSERVAÇÃO DA TAIPA MILITAR
NO ALENTEJO**

Relatório de Dissertação
Mestrado em Conservação e Reabilitação do
Edificado

ORIENTADOR

Professor Doutor António Pedro Carones Duarte

Doutora Bruna Amarílis da Palma e Silva

Dezembro 2022

MARIA VICÊNCIA
TENDEIRO
CALADO
FERREIRA
FONTINHA
EUGÉNIO

**CARACTERIZAÇÃO E
CONTRIBUTO PARA A
CONSERVAÇÃO DA TAIPA MILITAR
NO ALENTEJO**

JÚRI

*Presidente: Doutora Maria Eugénia de Jesus Santos,
Professora Adjunta, Escola Superior de Tecnologia
do Barreiro/IPS*

*Orientador: Doutor António Pedro Carones Duarte,
Professor Adjunto Convidado, Escola Superior de
Tecnologia do Barreiro/IPS*

*Vogal: Doutora Maria Idália da Silva Gomes,
Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia
de Lisboa (Arguente)*

Dezembro 2022

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor António Pedro Carones Duarte e Doutora Bruna Amarílis da Palma e Silva, pelos conhecimentos transmitidos, pela infinita disponibilidade, motivação e amizade ao longo de todo o processo.

Aos meus três filhos, Simão, Eduardo e Manuel, agradeço todo o amor, carinho, motivação, compreensão, imensa paciência, privando-os da minha companhia e do meu apoio enquanto mãe, durante todos os momentos dedicados a este mestrado.

Ao meu marido Eduardo Eugénio, pelo amor, carinho, amizade e companheirismo, pela infinita paciência, incentivo e apoio incondicional no mestrado e em todas as situações ao longo da nossa vida.

Aos meus pais, todo o amor e disponibilidade, pela forma como sempre encararam a vida, pelos valores transmitidos, por serem um exemplo de determinação e esforço, e por acreditarem sempre no meu sucesso. Agradeço também todo o amor, carinho e apoio incondicional prestado aos netos, que também permitiu maior dedicação ao estudo efetuado.

À minha família por todo o amor, motivação e privação da minha presença, durante todo este processo.

À colega de mestrado, Catarina Almeida, pelo espírito de entre ajuda, capacidade de trabalho em equipa e boa disposição, ao longo de todo o mestrado e pela sua amizade que permanece.

Ao Sr. Alexandre Gamito, por toda a disponibilidade e apoio prestado, na realização dos ensaios no laboratório de construção e reabilitação do IPS.

À Professora Ana Paula Ferreira Pinto, do Instituto Superior Técnico, por ter concedido o acesso ao equipamento que permitiu realizar a caracterização colorimétrica das amostras.

Ao Arquiteto Miguel Rocha, pela sua inteira disponibilidade na recolha das amostras de taipa da fortaleza de Juromenha.

Ao Sr. José Pacheco, da Câmara Municipal do Alandroal, pela disponibilidade e apoio, no acesso à fortaleza de Juromenha, no decorrer da obra em curso.

Ao Professor José Aguiar e ao Professor Pedro Pacheco, por disponibilizar o acesso ao “projeto de consolidação e restauro dos paramentos do perímetro abaluartado exterior e cerca islâmica e medieval interior”.

À Dra. Esmeralda Gomes, pelo apoio no acesso à fortaleza de Alcácer do Sal, e por disponibilizar matérias necessárias (publicações) sobre o tema em estudo.

À Dra. Marisol Ferreira da Câmara Municipal de Alcácer do Sal, pela disponibilidade no acompanhamento à recolha das amostras para o desenvolvimento do estudo.

À Dra. Ângela Barrigó, por disponibilizar materiais necessários sobre o tema em estudo.

À Direção Regional de Cultura do Alentejo, por disponibilizar acesso aos arquivos relacionados com o tema em estudo.

Resumo

As fortalezas de Alcácer do Sal e de Juromenha foram ambas palco de grandes batalhas ao longo de séculos, ocultando em si, no entanto, um sistema construtivo em terra crua, executado *in situ*, designada no período almóada por taipa militar. Trata-se de construções de grandes massas, em blocos de terra apiloada, que na sua constituição também possuem cal e agregados de dimensões variáveis.

O trabalho realizado teve como objetivo a caracterização da taipa militar das referidas fortalezas. Inicialmente, foram recolhidas amostras de taipa de ambos os locais, as quais foram limpas e catalogadas. Posteriormente, procedeu-se à sua caracterização colorimétrica, hídrica (determinação da absorção de água por capilaridade) física (massa volúmica aparente) e mecânica (velocidade de propagação de ultrassons e resistência à compressão), bem como à avaliação da sua composição (granulometria e caracterização visual).

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que, no geral, a taipa militar da fortaleza de Alcácer do Sal é menos compacta, possui menor resistência à compressão, uma maior percentagem de finos e aparentemente uma menor percentagem de cal do que a taipa pertencente à fortaleza de Juromenha.

Palavras-chave: taipa militar, conservação do património, fortalezas no Alentejo, caracterização hídrica, caracterização física, caracterização mecânica

Abstract

The fortresses of Alcácer do Sal and of Juromenha were both the scene of major battles over the centuries, concealing, however, a constructive system of raw earth, executed *in situ*, known in the Almohad period as military rammed-earth. These were large mass constructions, made of blocks of piled earth, which in their constitution, also had lime and aggregates of variable dimensions.

The aim of the work carried out was to characterize the military rammed-earth of the aforementioned fortresses. Initially, rammed-earth samples were collected from both locations, and then cleaned and catalogued. Subsequently, they were subjected to a colorimetric, hydric (water absorption by capillarity), physical (apparent density) and mechanical (ultrasonic pulse velocity and compressive strength) characterization, as well as an evaluation of their composition (particle size distribution and visual characterization).

From the work carried out, it was possible to conclude that, in general, the military rammed-earth belonging to the fortress of Alcácer do Sal is less compact, has lower compressive strength, a higher percentage of fines and apparently a lower percentage of lime than the rammed-earth collected from the fortress of Juromenha.

Key-words: military rammed-earth, conservation of the built heritage, fortresses in Alentejo, hydric characterization, physical characterization, mechanical characterization

Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Contexto e motivação	1
1.2. Objetivos e metodologia	1
1.3. Estrutura do documento	2
 2. Caracterização das fortalezas	 5
2.1. Considerações gerais.....	5
2.2. Fortaleza de Alcácer do Sal	5
2.2.1. Localização e enquadramento	5
2.2.2. História	6
2.2.3. Geografia	7
2.2.4. Intervenções e estado atual de conservação	8
2.2.5. Anomalias/ Degradação	10
2.3. Fortaleza de Juromenha.....	12
2.3.1. Localização e enquadramento	12
2.3.2. História	13
2.3.3. Geografia	16
2.3.4. Intervenções e estado atual de conservação	17
2.3.5. Anomalias/ Degradação	19
 3. Taipa	 21
3.1. A taipa como material de construção	21
3.2. A taipa como sistema construtivo.....	22
3.3. A taipa militar.....	23
3.3.1. Materiais constituintes e distribuição granulométrica	25
3.3.2. Massa volúmica e características de transporte de água	28
3.3.3. Resistência mecânica.....	30
 4. Descrição da campanha experimental	 33
4.1. Introdução.....	33
4.2. Descrição das amostras e metodologia experimental	33
4.3. Caracterização colorimétrica	38

4.4. Caracterização hídrica.....	40
4.4.1. Absorção de água por capilaridade.....	40
4.5. Caracterização física.....	43
4.5.1. Massa volúmica aparente	43
4.6. Caracterização mecânica.....	44
4.6.1. Velocidade de propagação de ultrassons.....	44
4.6.2. Resistência à compressão.....	45
4.7. Análise granulométrica	47
4.7.1. Análise granulométrica e caracterização visual da fração grossa	48
4.7.2. Análise granulométrica e caracterização visual da fração fina	50
5. Resultados e discussão.....	53
5.1. Introdução.....	53
5.2. Caracterização colorimétrica	53
5.3. Caracterização hídrica.....	55
5.3.1. Absorção de água por capilaridade.....	55
5.4. Caracterização física.....	59
5.4.1. Massa volúmica aparente	59
5.5. Caracterização mecânica.....	60
5.5.1. Velocidade de propagação de ultrassons.....	60
5.5.2. Resistência à compressão	62
5.6. Análise granulométrica	64
5.6.1. Fração grossa	64
5.6.2. Fração fina	66
6. Conclusões e desenvolvimentos futuros	71
6.1. Conclusões	71
6.2. Propostas de desenvolvimentos futuros	72
Referências	73
Anexos	77
Fichas de caracterização das amostras das fortalezas de Alcácer do Sal e Juromenha.....	78

Índice de figuras

Figura 2.1 - Imagem aérea da Fortaleza de Alcácer do Sal	5
Figura 2.2 - Extrato do mapa de vias e povoações do sul de Portugal na época romana.....	6
Figura 2.3 - Planta atual da Muralha de Alcácer do Sal	7
Figura 2.4 - Hipsometria na zona de Juromenha e envolvente próxima	7
Figura 2.5 - Perfil Geológico, Extrato da Carta Geológica de Portugal - Alcácer do Sal 39-C.....	8
Figura 2.6 - Adaptação de Origem das fases construtivas da fortaleza	9
Figura 2.7 - Vista aérea das muralhas de Alcácer do Sal.....	10
Figura 2.8 - Anomalias na muralha da fortaleza de Alcácer: (a) e (b) degradação por vegetação infestante e erosão com perda de secção dos paramentos	11
Figura 2.9 - Anomalias na muralha da fortaleza de Alcácer: (a) e (b) sobreposição de intervenções com diferentes sistemas construtivos, colonização biológica, degradação por erosão e (b) lacunas por ação animal com perda de secção.....	11
Figura 2.10 - Anomalias na muralha da fortaleza de Alcácer: (a) Degradação das argamassas de sacrifício (exposição do aparelho de taipa e lacunas), (b) degradação da muralha por erosão e infestação vegetal	11
Figura 2.11 - (a) e (b) degradação das argamassas de revestimento (exposição do aparelho construtivo, perda de secção intervenções de épocas e sistemas construtivos diferentes).....	12
Figura 2.12 - Fortaleza de Juromenha, atualmente (ano de 2022).....	12
Figura 2.13 - Imagem aérea Fortaleza de Juromenha.....	13
Figura 2.14 - Planta da Fortificação por Duarte de Armas - Fortaleza de Juromenha 1509	14
Figura 2.15 - Plano de Juromenha e de sua cidade e novas fortificações nos anos de 1644 e 1657, por Nicolau de Langres.....	15
Figura 2.16 - Fortaleza atual, século XXI	16
Figura 2.17 - Hipsometria, na zona de Juromenha e envolvente próxima	16
Figura 2.18 - Extrato da Carta Geológica de Portugal - Juromenha 37-C.....	17
Figura 2.19 - Fases construtivas da fortaleza	18
Figura 2.20 - Zonas de Intervenção pela DGEM da fortaleza de Juromenha.....	18
Figura 2.21 - Anomalias na muralha da fortaleza de Juromenha: (a) Desagregação por erosão, ação animal, com perda de seção e deformação generalizada da taipa, (b) lacuna pontual na muralha de taipa, perda de seção e deformação generalizada por ação da erosão, (c) degradação generalizada com perda de secção em paramento de taipa, (d) derrocada parcial do muro de	

taipa, (e) fendilhação vertical, perda de secção e ação animal e (f) lacunas profundas, erosão, lacunas, fendilhação e derrocada parcial.....	19
Figura 3.1 - Utensílios da taipa em Alfundão, Ferreira do Alentejo, em 1955.....	22
Figura 3.2 - Carotes de taipa militar da (a) base, (b) meia altura e (c) topo da muralha Almóada da fortaleza de Alcácer do Sal recolhidas por Chagas (1995)	25
Figura 3.3 - Amostras (a) AM10 e (b) AM11 de taipa militar estudadas por Coradinho (2018).....	26
Figura 3.4 - Imagens obtidas com MEV/EDS das amostras AM10 e AM11 estudadas por Coradinho (2018)	28
Figura 3.5 - Curvas granulométricas das amostras de taipa estudadas por Chagas (1995).....	28
Figura 4.1 - Planta de Alcácer do Sal, com identificação dos locais de onde foram retiradas as amostras.....	34
Figura 4.2 - A/I/1 (a) Localização; (b) Amostra.....	35
Figura 4.3 - A/I/2 (a) Localização; (b) Amostra.....	35
Figura 4.4 - A/I/3 (a) Localização; (b) Amostra.....	35
Figura 4.5 - A/I/6 (a) Localização; (b) Amostra.....	36
Figura 4.6 - Planta de Juromenha, com identificação dos locais de onde foram retiradas as amostras.....	36
Figura 4.7 - J/C/1 (a) Localização; (b) Amostra.....	37
Figura 4.8 - J/I/1 (a) Localização; (b) Amostra.....	37
Figura 4.9 - J/C/2 (a) Localização; (b) Amostra.....	37
Figura 4.10 - Metodologia experimental adotada nos ensaios realizados em laboratório	38
Figura 4.11 - (a) e (b) Provetes para ensaio	39
Figura 4.12 - (a) Parâmetros do espaço de cor CIELAB (“L” luminosidade claro/escuro, “a” variação verde /vermelho,”b” variação azul/amarelo; (b) Colorímetro	39
Figura 4.13 - (a) Secagem das amostras em estufa, (b) determinação das áreas em planta das amostras e determinação das massas (c) das amostras e (d) dos cestos metálicos e geotêxteis	42
Figura 4.14 - (a) Início do ensaio; (b) Fim do ensaio com os provetes totalmente humedecidos	42
Figura 4.15 - (a) Craveira para medição dos provetes; (b) Pesagem de um provete.....	44
Figura 4.16 - (a) Provetes utilizados no ensaio; (b) Aparelho de ultrassons; (c) Medição dos ultrassons no provete	45
Figura 4.17 - (a) Máquina de ensaio; (b) Provete para ensaio (após ensaio); (c) Ensaio à compressão com provete.....	46

Figura 4.18 - (a) Material recolhido a ser desfeito; (b) Porção de material recolhido já desfeito; (c) Material desfeito com almofariz e pilão de borracha.....	48
Figura 4.19 - (a) Pesagem do material; (b) Colocação do material nos peneiros; (c) Agitador com bateria de peneiros	49
Figura 4.20 - Peneiros a serem pesados; (a) Peneiro 1" – Fração maior; (b) Peneiro n. 10 – Fração média; (c) Peneiro n. 140 - pó	49
Figura 4.21 - (a) Exemplo de agregados grosso obtidos; (b) exemplo de curva granulométrica de agregados grossos da taipa	50
Figura 4.22 - (a) Desfloculação – agitando a mistura de massa "fina", hexametáfosfato de sódio comercial e água destilada; (b) Lavagem da massa "finos" a jato de água; (c) Material "finos" na estufa	51
Figura 4.23 - Exemplo de agregados finos de taipa militar obtidos após desfloculação e peneiração.....	51
 Figura 5.1 - Gráficos com as coordenadas a^* e b^* e L^* e C^* das taipas de Alcácer e de Juromenha	55
Figura 5.2 - Provetes de taipa militar (a) de Alcácer A/I/2.1 e (b) de Juromenha J/C/2.1	55
Figura 5.3 - Curvas de absorção de água por capilaridade das taipas das fortalezas (a) de Alcácer do Sal e (b) de Juromenha.....	56
Figura 5.4 - Provetes da taipa de Juromenha com diferentes alturas: (a) J/I/1.3 e (b) J/I/1.5 ...	56
Figura 5.5 - Provetes da taipa de Alcácer do Sal	57
Figura 5.6 - Exemplificação da obtenção dos coeficientes capilares da taipa militar das fortalezas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha.....	57
Figura 5.7 - Massas volúmicas aparentes das taipas das fortalezas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha	59
Figura 5.8 - Velocidades de propagação ultrassons das amostras de taipa das fortalezas (a) de Alcácer e (b) Juromenha.....	61
Figura 5.9 - Resistência à compressão das taipas das fortalezas (a) de Alcácer e (b) Juromenha.....	62
Figura 5.10 - Gráfico da correlação dos ultrassons com a resistência à compressão das amostras de taipa das fortalezas de Alcácer e Juromenha.....	63
Figura 5.11 - Modo de rotura à compressão dos provetes da taipa de Alcácer do Sal.....	64
Figura 5.12 - Curvas granulométricas das frações grossas das taipas das muralhas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha.....	65
Figura 5.13 - Agregados retidos nos peneiros (a) #4 e (b) #10 da taipa de Alcácer do Sal (A/I/3) e nos peneiros (c) #4 e (d) #10 da taipa de Juromenha (J/I/1)	66

Figura 5.14 - Agregados retidos nos peneiros (a) 1'' e 3/4'' e (b) 3/8'' da taipa de Juromenha (J/I/1)	66
Figura 5.15 - Curvas granulométricas das frações finas das taipas das muralhas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha.....	67
Figura 5.16 - Material retido nos peneiros (a) #20, (b) #40, (c) #60, (d) #140 e (e) #200 da taipa de Alcácer do Sal (A/I/2)	68
Figura 5.17 - Material retido nos peneiros (a) #20, (b) #40, (c) #60, (d) #140 e (e) #200 da taipa de Juromenha (J/C/1).....	68

Índice de tabelas

Tabela 3.1 - Espessura das muralhas, alturas e comprimentos dos taipais de cinco fortalezas e castelos do Alentejo e Algarve	24
Tabela 3.2 - Propriedades geométricas, massa volúmica aparente e tensão de rotura à compressão dos carotes de taipa militar estudados por Chagas (1995)	29
Tabela 4.1 - Identificação das taipas recolhidas e utilizadas nos ensaios.....	34
Tabela 4.2 - Ensaios realizados e respetivas amostras por fortaleza	38
Tabela 4.3 - Amostras utilizadas na Caracterização Colorimétrica das taipas	39
Tabela 4.4 - Amostras utilizadas na determinação da absorção de água por capilaridade das taipas	40
Tabela 4.5 - Intervalos de tempo entre pesagem dos provetes	41
Tabela 4.6 - Amostras utilizadas da determinação da massa volúmica aparente das taipas	43
Tabela 4.7 - Amostras utilizadas da determinação a velocidade de propagação de ultrassons das taipas	45
Tabela 4.8 - Amostras utilizadas para determinação da resistência à compressão das taipas estudadas	46
Tabela 4.9 - Amostras utilizadas na análise granulométrica das taipas.....	47
Tabela 4.10 - Relação peneiros (ASTM)/ Malhas (mm) – Grossos	49
Tabela 4.11 - Relação, Peneiros (ASTM)/ Malhas (mm) – Finos	51
Tabela 5.1 - Caracterização colorimétrica das amostras de taipa da fortaleza de Alcácer do Sal	53
Tabela 5.2 - Caracterização colorimétrica das amostras de taipa da fortaleza de Juromenha ..	54
Tabela 5.3 - Coeficientes de capilaridade das taipas militares estudadas.....	58
Tabela 5.4 - Massa volúmica das amostras de taipa de Alcácer do Sal	60
Tabela 5.5 - Massa volúmica das amostras de taipa de Juromenha.....	60
Tabela 5.6 - Valores médios da velocidade de propagação de ultrassons das amostras de taipa da fortaleza de Alcácer	61
Tabela 5.7 - Valores médios da velocidade de propagação de ultrassons das amostras de taipa da fortaleza de Juromenha	61

1. Introdução

Neste capítulo definem-se o contexto e a motivação do trabalho apresentado nesta dissertação, bem como os seus principais objetivos e metodologia e a estrutura do documento.

1.1. Contexto e motivação

A taipa, também conhecida por terra compactada, é uma técnica construtiva/material vernacular com grande aplicação no Alentejo, Portugal, em grande parte devido à elevada disponibilidade do material terra bem como à reduzida pluviosidade da região. Adicionalmente, trata-se de um material pouco oneroso e com reduzido impacto ambiental que, além da utilização em habitações, foi também utilizada na construção de fortalezas militares. No último caso, para aumentar a sua resistência e durabilidade, a terra era estabilizada com cal aérea.

A taipa, de grande aplicação não apenas no Alentejo, mas também um pouco por toda a Península Ibérica, foi utilizada em edifícios habitacionais até à primeira metade do século XX, tendo sido depois substituída por novas técnicas e materiais. A procura atual por materiais de reduzido impacto ambiental, assim como o avançado estado de degradação de muitos dos edifícios de taipa civil e militar, em grande parte por falta de conhecimentos que permitam intervenções de conservação duradouras, fez com que a taipa se tornasse, nos últimos anos, um tópico de estudo com crescente interesse. No caso do presente trabalho, o estudo da taipa militar é um tópico do interesse da autora, fruto das suas experiências profissionais, enquanto técnica superior de arquitetura, na Direção Regional de Cultura do Alentejo, na salvaguarda do património edificado e atualmente, como técnica superior de arquitetura, na unidade de gestão urbanística e atendimento da câmara municipal de Alvito.

A realização do presente estudo permitiu a consolidação e aprofundamento de alguns dos conhecimentos adquiridos no mestrado de Conservação e Reabilitação do Edificado, frequentado na Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, do Instituto Politécnico de Setúbal. Adicionalmente, pretendeu contribuir para o aumento do conhecimento sobre a taipa militar, adicionando massa crítica a outros estudos de caracterização que têm sido desenvolvidos ao longo dos últimos anos por diversos investigadores.

1.2. Objetivos e metodologia

O principal objetivo desta dissertação, apoiada num extenso trabalho laboratorial, é o de contribuir para o aumento do conhecimento sobre a taipa militar. Para tal, foi feita a

caracterização da taipa existente em duas fortalezas do Alentejo, de diferentes locais e épocas construtivas: (i) a fortaleza de Alcácer do Sal, localizada no litoral de Portugal e (ii) a fortaleza de Juromenha no interior raiano. O interesse na fortaleza de Alcácer do Sal decorreu da vontade de aprofundar anteriores estudos realizados a nível profissional no âmbito desta fortificação. No caso da fortaleza de Juromenha, a facilidade de obter material para ensaio foi um fator determinante, devido à empreitada de conservação que se encontrava a decorrer no imóvel durante a elaboração deste trabalho.

Neste estudo, foi considerada a localização, história, geografia e anteriores intervenções realizadas nas referidas fortalezas, foi retratado o seu atual estado de conservação e descritas as suas anomalias. Deste modo, para proceder à caracterização da taipa, foram recolhidas amostras e posteriormente sujeitas a uma caracterização o mais semelhante possível, por forma a possibilitar a comparação das suas propriedades.

A metodologia experimental seguida para a referida caracterização das amostras, começou pela sua catalogação já em laboratório, após recolha. As amostras foram pesadas e fotografadas antes e depois da limpeza realizada, por forma a ficarem desprovidas de partículas soltas ou vestígios de colonização biológica. Posteriormente, as amostras foram identificadas tendo-se procedido à sua seleção e corte para a realização dos ensaios de caracterização. Foi ainda efetuada uma primeira caracterização visual do aspeto e das principais características (coesão, cor) e materiais presentes (tipo e forma dos agregados e presença materiais cerâmicos ou outros) nas amostras.

Este estudo contemplou a caracterização colorimétrica, física (absorção de água por capilaridade, massa volúmica aparente e velocidade de ultrassons), e mecânica (resistência à compressão) das amostras de taipa recolhidas. Estas foram ainda sujeitas a uma análise granulométrica. Após a realização da campanha experimental, e com base em toda a investigação desenvolvida, procedeu-se à análise comparativa das amostras de taipa recolhidas dos dois locais, tendo sido realizada a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

1.3. Estrutura do documento

A presente dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo (aqui apresentado) corresponde aos textos introdutórios do trabalho com o contexto e motivação, objetivos propostos e metodologia adotada, e estrutura do documento.

No segundo capítulo faz-se um curto enquadramento de cada uma das fortalezas, desde a localização, à história e geografia. Descrevem-se também as intervenções realizadas a estes edifícios, assim como o seu atual estado de conservação.

O terceiro capítulo aborda a taipa como material de construção e como sistema construtivo, focando-se depois na taipa militar: os materiais constituintes, com ênfase na sua distribuição granulométrica e petrografia, e algumas das suas principais propriedades físicas (massa volúmica e características de transporte de água) e mecânicas.

O quarto capítulo apresenta o plano de trabalhos e metodologias seguidas na campanha experimental, que consistiu na caracterização das amostras de taipa recolhidas nas fortalezas de Alcácer do Sal e de Juromenha. Assim, para cada ensaio de caracterização, apresentam-se os materiais e equipamentos utilizados e descrevem-se os procedimentos e os cálculos que lhes são específicos, para além do seu enquadramento normativo.

O quinto capítulo diz respeito à apresentação e discussão dos resultados obtidos nos ensaios realizados. Procede-se à análise comparativa dos resultados de ambas as fortalezas e realizam-se comparações com outros estudos, do mesmo âmbito.

Por fim, no sexto capítulo, apresentam-se as conclusões obtidas no estudo desenvolvido, assim como uma visão sobre as possíveis contribuições seguintes numa perspetiva de desenvolvimentos futuros.

2. Caracterização das fortalezas

2.1. Considerações gerais

Neste capítulo é realizada uma caracterização sumária das fortalezas de Alcácer do Sal e de Juromenha tendo em consideração a sua localização, história e geografia, sendo também descritas as intervenções a que foram sujeitas ao longo do tempo. É também retratado o estado de atual conservação de ambas as fortalezas e descritas as anomalias que apresentam.

2.2. Fortaleza de Alcácer do Sal

2.2.1. Localização e enquadramento

A Fortaleza de Alcácer do Sal encontra-se implantada numa colina e confinada pelo rio Sado, a norte do mesmo. Localiza-se no centro da atual cidade de Alcácer do Sal (coordenadas GPS: 38°22'20.02"N; 8°30'50.71"O), na União das Freguesias de Alcácer do Sal e de Santa Susana (antiga freguesia de Santa Maria do Castelo), Município de Alcácer do Sal, distrito de Setúbal, região (NUTS II) Alentejo e sub-região (NUTS III) do Alentejo Litoral (Figura 2.1).

Dista, em linha reta, cerca de 18 km do estuário do Sado, 38 km da sede de distrito de Setúbal, 57 km de Évora e 65 km de Lisboa. Erigida numa colina, a cerca de 55 m de altitude, envolvida a sul pelo Sado, esta fortificação militar, à semelhança de um anfiteatro elevado, tira partido da sua localização, com grande amplitude visual, sobre o Sado, em particular nos quadrantes Nascente/ Sul/ Poente.



Figura 2.1 – Imagem aérea da Fortaleza de Alcácer do Sal, [Fonte - Google Earth, 2022]

2.2.2. História

A Fortaleza palatina representa uma das fortificações mais distintas do domínio islâmico na Península Ibérica, presente em Portugal (Chagas, 1995). A referida colina, tem diferentes fases de ocupação, com início nos séculos VII-VI a.C., acabando por cobrir integralmente a idade do ferro. Posteriormente, assume grande importância durante a ocupação do império Romano na península ibérica, nos séculos I e II a.C.. O estatuto de cidade importante de Alcácer do Sal (*Salacia*) advém da sua localização junto ao Sado, assim sendo, uma das mais importantes vias de comunicação entre o litoral e Mérida (*Emeritas Augusta*), capital da Lusitânia Romana, passando por *Ebora Augusta* e Elvas (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Extrato do mapa de vias e povoações do sul de Portugal na época romana, [Fonte - Alarcão, 1973]

Neste contexto, em harmonia com vários autores e investigadores, o conjunto amuralhado de Alcácer (Figura 2.3), foi certamente reconstruído no início do último período de ocupação árabe (almóada), 1191, sem dados precisos do início da mesma. Importa também referir, com base nas várias campanhas arqueológicas (1994), que a muralha do período almóada terá sido reconstruída sobre estruturas de épocas anteriores, presumivelmente tardo romanas, e posteriormente da primeira cerca califal omíada, que já possuía no local um palácio califa.

Toda a fortaleza de Alcácer do Sal (castelo e muralhas), é um imóvel classificado como MN - Monumento Nacional, Decreto de 16-06-1910, DG n.º 136 de 23 junho 1910.

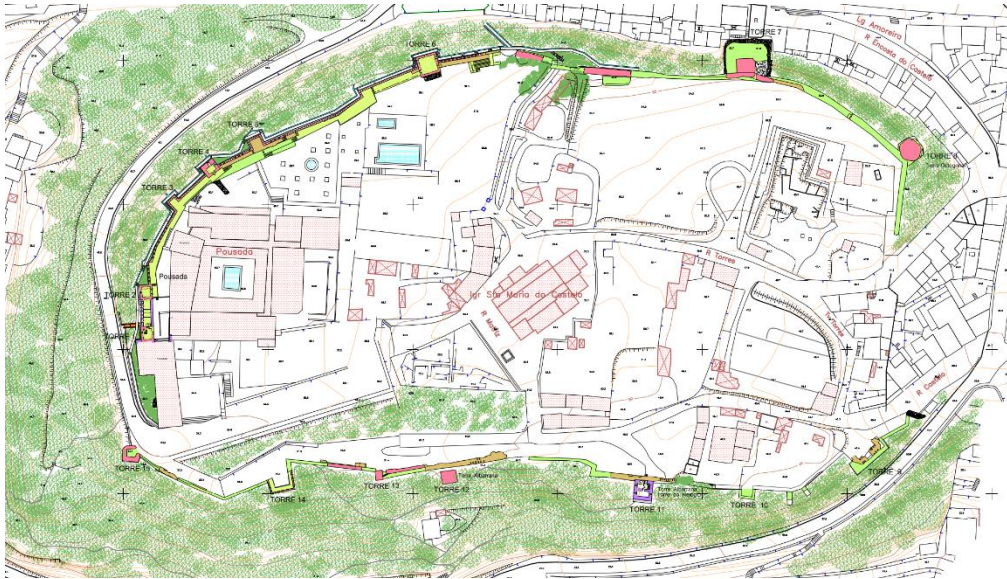


Figura 2.3 – Planta atual da Muralha de Alcácer do Sal, [Fonte - Eugénio *et al.*, 2019]

2.2.3. Geografia

O imóvel encontra-se numa colina a cerca de 55 m de altitude, conforme a Figura 2.4 e a sua envolvente topográfica varia entre a cota 2 m, a sul, no leito do Sado, até a uma cota variável da envolvente próxima a NE/ N/ NO, que varia entre as cotas 45 m, 60 m e 41 m.



Figura 2.4 - Hipsometria na zona de Juromenha e envolvente próxima, [Fonte – Topographic-mao.com, 2022]

No local da fortaleza, de acordo com Figura 2.5, geologicamente a formação pertence na sua maioria ao miocénico médio com conglomerados e biocalcarenitos, de grosso modo arenosos, constituídos por areias finas e médias, sendo que os biocalcarenitos da idade miocénica, o seu conteúdo fóssil mais evidente, são conchas de moluscos bivalves.

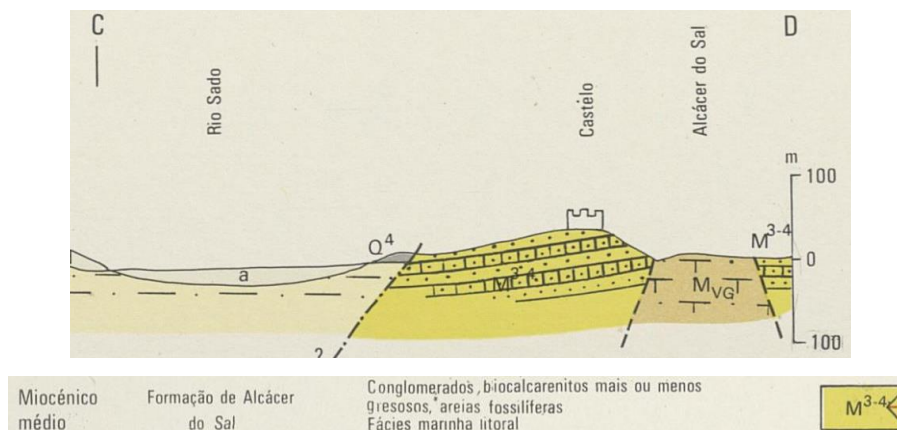


Figura 2.5 - Perfil geológico, extrato da Carta Geológica de Portugal - Alcácer do Sal 39-C, [Fonte – LNEG, 2022]

Em Alcácer, ao longo do ano, a temperatura varia entre o valor máximo de temperatura média mensal na ordem dos 23°C (máx. 30,6°C) e mínimo na ordem dos 10°C (min. 5,4°C), e os ventos dominantes são por norma no quadrante NO e O, e variam, na sua maioria entre 12 a 19 km/h. Em termos de amplitude térmica, a variação anual, apresenta valores de 12°C. No que se refere a amplitudes extremas a máxima verifica-se em agosto (15,2°C) e mínima em fevereiro (9,7°C). A precipitação média anual nesta região é de 574,5 mm para a estação meteorológica de Alcácer do Sal.

2.2.4. Intervenções e estado atual de conservação

Para o conhecimento efetivo das intervenções realizadas, é necessário conhecer as fases construtivas que estão na origem da atual fortaleza (Figura 2.6), a sua transformação ao longo dos diversos períodos de ocupação, assim como da necessidade de adaptação às diversas realidades bélicas, não obstante as muitas intervenções posteriores.

A ex - DGEM (Direcção Geral dos Edifício e Monumentos Nacionais) realizou uma campanha de intervenções na fortaleza, na segunda metade do século XX (1958-1983). Independentemente do seu atual estado de degradação, sem tais intervenções, não seria possível que o monumento tivesse chegado aos nossos dias nas atuais condições. Posteriormente a 1983, e até 2015, foram realizadas mais intervenções na muralha, com especial destaque a construção da Pousada (1995), e intervenções posteriores executadas pela DRCA (Direcção Regional de Cultura do Alentejo). Com base em descrições oficiais e detalhadas, patentes em diversos documentos de investigação, em particular o "O Castelo de Alcácer do Sal e a utilização da taipa militar durante o domínio Almoada (Chagas, 1995)" e SIPA (Sistema de Informação para o Património

Arquitetónico), são descritas obras de consolidação no lado sul, na qual, a alvenaria de pedra e taipa, nas zonas em risco de ruir foram demolidas.

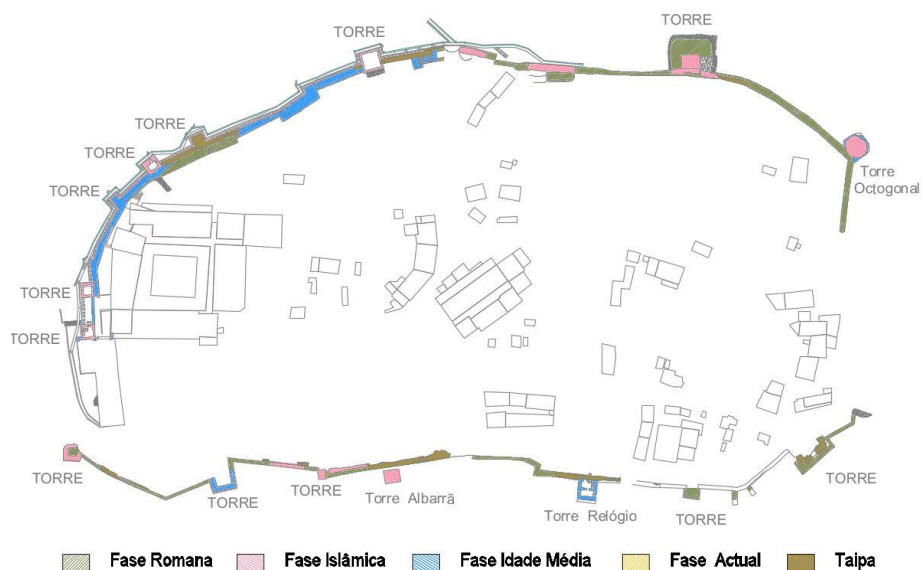


Figura 2.6 – Adaptação de Origem das fases construtivas da fortaleza, [Fonte - Eugénio *et al.*, 2019]

Em 1963 a fortaleza sofreu intervenção no lado norte, procedendo-se à demolição das zonas da muralha de difícil consolidação, recalçamento da muralha, e reparação de paramentos onde foram realizados encasques com pedra reaproveitada (SIPA, 1998). Em 1966, a muralha foi alvo de uma intervenção de consolidação nos mesmos moldes referidos anteriormente, tendo também sido realizada uma intervenção de reparação de coberturas de todos os elementos afetos à muralha (SIPA, 1998). A consolidação da muralha no lado sul continuou durante o ano de 1967, tendo em 1969/70 sido realizada uma intervenção de conservação das paredes e muralha junto à igreja. Em 1971 procedeu-se ao recalçamento de fundações, enchimentos de lacunas nos paramento, terminando com alvenaria imitando taipa, isto devido a troços da muralha que se encontravam instáveis. Mais intervenções de conservação foram realizadas em 1972: encasque da torre do relógio, no lado norte e consolidação das muralhas em taipa e alvenaria e elevação dos torreões do lado este.

Mais tarde, em 1975, executou-se o recalçamento da muralha a oeste da torre do relógio e também a elevação da taipa ao nível da rua. Para evitar que as argamassas da taipa militar continuassem a sofrer danos devido à existência de águas nos terrenos, foram construídas valas de drenagem e de boieiros para o respetivo encaminhamento das águas (Chagas, 1995). Nos anos 80, a fortificação sofreu vários tipos de intervenções. Inicialmente, entre 1982 e 1983, procedeu-se à continuação dos restauros da muralha em taipa e dos paramentos exteriores da

muralha e torreões e à recuperação de adarves e ameias, sendo que, em 1985, foi realizada a reconstrução de torreões em alvenaria de pedra, com acabamento imitando taipa. De 1986 a 1988, a muralha sul foi sofrendo vários tipos de intervenções, de reconstrução, beneficiação e consolidação das muralhas e torreões (SIPA, 1998).

As escavações de arqueologia que decorreram no seguimento das obras de construção da Pousada, foram realizadas em 1995. Por fim, em 2014, procedeu-se a uma intervenção da Torre do Relógio.

2.2.5. Anomalias/degradação

A necessidade do estudo de caracterização das taipas deve-se essencialmente à inspeção visual das principais patologias identificadas na fortaleza, que afetam directamente a sua constituição, estabilidade e salubridade construtiva.

As anomalias existentes na muralha de Alcácer do Sal (Figura 2.7), estão fundamentalmente associadas à falta de intervenções de limpeza e manutenção, e de pequenas obras de conservação. Para além da exposição aos elementos climáticos e densa vegetação, algumas das intervenções realizadas nos últimos anos deram origem a incompatibilidades com os materiais existentes.



Figura 2.7 – Vista aérea das muralhas de Alcácer do Sal, [Fonte - Eugénio *et al.*, 2019]

A muralha da fortaleza enfrenta elevada exposição às condições climáticas pelo que tem sido alvo de maior diversidade de intervenções de consolidação na recuperação, com principal expressão na vegetação parasita, que infesta as estruturas amuralhadas e a acção animal com principal evidência no aparecimento de lacunas (Figuras 2.8 e 2.9).



(a)

(b)

Figura 2.8 – Anomalias na muralha da fortaleza de Alcácer: (a) e (b) degradação por vegetação infestante e erosão com perda de secção dos paramentos, [Fonte - Eugénio *et al.*, 2019]]



(a)

(b)

Figura 2.9 – Anomalias na muralha da fortaleza de Alcácer: (a) e (b) sobreposição de intervenções com diferentes sistemas construtivos, colonização biológica, degradação por erosão e (b) lacunas por ação animal com perda de secção, [Fonte - Eugénio *et al.*, 2019]

A ação do vento conjugada com a ação pluvial tem igualmente contribuído para uma erosão que tem acelerado alguns fenómenos presentes (Figuras 2.10 e 2.11).



(a)

(b)

Figura 2.10 – Anomalias na muralha da fortaleza de Alcácer: (a) Degradação das argamassas de sacrifício (exposição do aparelho de taipa e lacunas), (b) degradação da muralha por erosão e infestação vegetal.



(a)



(b)

Figura 2.11 - (a) e (b) degradação das argamassas de revestimento (exposição do aparelho construtivo, perda de secção intervenções de épocas e sistemas construtivos diferentes), [Fonte - Eugénio et al, 2019]

2.3. Fortaleza de Juromenha

2.3.1. Localização e enquadramento

A Fortaleza de Juromenha (Figura 2.12), confinante ao rio Guadiana, está localizada na zona raiana do Alentejo central (coordenadas GPS: N 38 44.285' W 007 14.368'), União de Freguesias de Alandroal, São Brás dos Matos e Juromenha, Município de Alandroal, distrito de Évora, NUT III Alentejo Central.



Figura 2.12– Fortaleza de Juromenha, atualmente (ano de 2022), [Fonte - Autor]

Dista, em linha reta, cerca de 13,4 km de Olivenza, 17,2 km de Elvas, 28,0 km de Badajoz, e 14,7 km da sede de concelho, a Vila do Alandroal. Erigida num planalto, a cerca de 200 m de altitude, envolvida a sul pelo Guadiana (Figura 2.13) e defendida a nascente/ norte pela ribeira de Mures, esta fortificação, ponto geoestratégico militar, tira partido da sua localização, com grande amplitude visual sobre o guadiana e de onde é possível avistar outras praças como Olivenza, a partir das zonas baixas do Arroyo de la Charca.

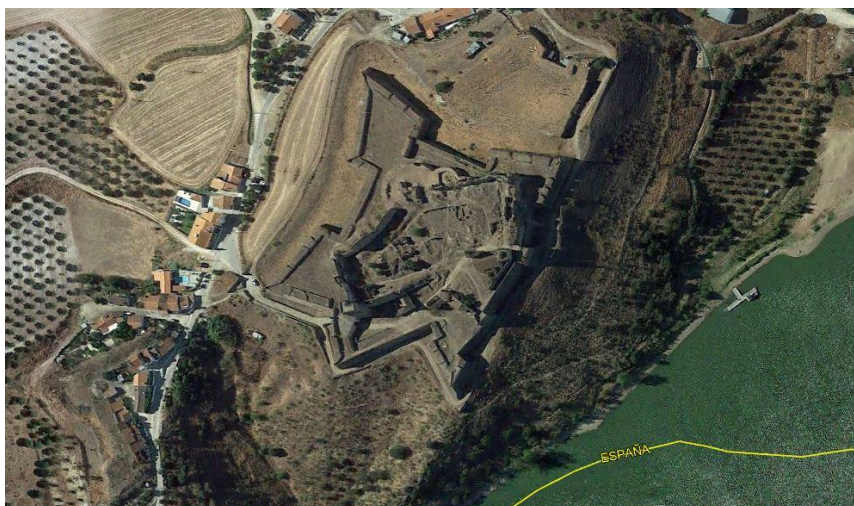


Figura 2.13 – Imagem aérea Fortaleza de Juromenha, [Fonte - Google Earth, 2022]

A Fortaleza de Juromenha é classificada como IIP - Imóvel de Interesse Público, pelo Decreto n.º 41 191, DG, I Série, n.º 162, de 18-07-1957. A designação de "Fortaleza de Juromenha", inclui a fortificação moderna seiscentista, a Fortaleza Principal medieval, o Hornaveque de São Lázaro e o Hornaveque de Santo António.

2.3.2. História

A ocupação deste território é contínua desde a pré-história, constatando-se na sua envolvente a existência da Estação Paleolítica do Monte Branco, assim como diversas estruturas ligadas ao megalitismo alentejano, com provável origem no período paleolítico/ neolítico. Sobre a formação de Juromenha pouco se sabe, sendo geralmente reconhecido que a sua origem remonta aos Romanos (século I a.C.). Terá sido fundada por Júlio César, que de imediato a fortificou, erigindo uma muralha, que em harmonia com alguns autores, terá sido apelidada de *Julli Moenia*, ou *Muralhas de Júlio*. De acordo com Brilhante (2005), não existe certeza quanto ao seu fundador e seu primeiro nome; há quem refira que foram os “gallos-celtas”, em 390 ou 400 a.C., ou Júlio Cesar, que cercou o local de fortes muralhas, pelos anos 44 a.C., dando-lhe o nome de “*Julli Moenia*” ou “*Juris Moenia*”, como referido. Esta ideia acaba corroborada pela descoberta de inúmeros vestígios Romanos, entre eles uma *Ara Votiva*, em cantaria, no interior da fortificação, com apontamentos em latim dedicados a Endovélico, e outras lápides funerárias com inscrições em latim, verificando-se também, a reutilização de silharia de origem Romana.

A muralha medieval também expõe registos que apontam para a existência de elementos construtivos reutilizados da época visigótica, revelado pela introdução de peças de cantaria nos paramentos da fortificação, em particular nas suas torres. Contudo, as primeiras menções à fortaleza medieval são escritas em árabe e datam da segunda metade do século IX, em que Makhûl ibn Umar é senhor muladi de Juromenha, sendo que mais tarde, em 930 d.C., o lugar fica submetido à influência do Califado de Córdoba, e posteriormente dos Califados Almorávida e Almoadas, até à conquista definitiva pelo Reino de Portugal, em 1242. Já em 1509, Duarte de Armas, incumbido pelo Rei D. Manuel I, realiza o primeiro levantamento do estado de conservação de todas as fortificações raianas, chegando assim, até aos nossos dias, as primeiras ilustrações da fortaleza (Figura 2.14).

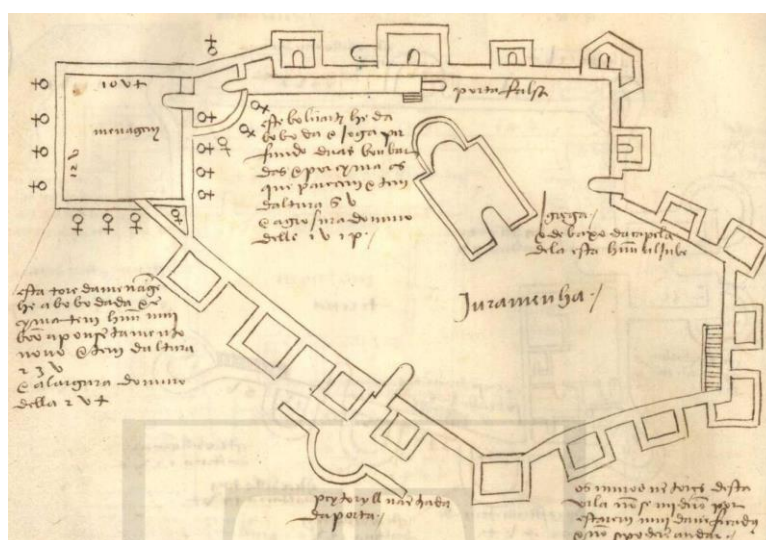


Figura 2.14 - Planta da Fortificação por Duarte de Armas - Fortaleza de Juromenha 1509, [Fonte – Arquivo Nacional, Torre do Tombo, 2022]

O registo desenhado e escrito de Duarte de Armas, revela uma fortaleza medieval, parcialmente derrocada, tendo sido também registadas partes em ruína da vila e do castelo. Note-se que até ao século XVII, a fortaleza de Juromenha aparenta ter sofrido poucas alterações, tendo sido objeto de adaptações aquando das guerras da restauração. Nos registos de 1509/1510, Duarte de Armas refere que partes da fortificação islâmica estão em mau estado de conservação, muito possivelmente por terem sido construídas com taipa militar e estruturas mistas, percebendo-se quais os elementos acrescentados pela reconquista cristã (Aguiar e Pacheco, 2019).

Relativamente às fortificações seiscentistas, em 1644 a 1658, procedeu-se a significativas obras de adaptação do antigo castelo medieval, transformando-o em fortaleza abaluartada, aquando das guerras da restauração (SIPA - Oliveira, 2005).

O projeto de alteração da fortaleza teve como objetivo adaptar a mesma à nova realidade bélica, e ao contexto das guerras da restauração (1640-1668). Neste enquadramento, é desenvolvido o projeto da fortaleza moderna, cuja autoria ainda hoje é motivo de incertezas, sendo, contudo, atribuída ao flamengo Cosmader. Não obstante, o primeiro desenho conhecido da fortaleza moderna, evidente na Figura 2.15, é da autoria do francês Nicolau de Langres, datado de 1657.



Figura 2.15 - Plano de Juromenha e de sua cidade e novas fortificações nos anos de 1644 e 1657, por Nicolau de Langres, [Fonte – Fortalezas.org, 2022]

Após a explosão do seu paiol (Torre de Menagem) em 1659, a fortaleza voltou a ser fortemente abalada pelo terramoto de 1755, em especial a parte seiscentista, o que levou a uma campanha de melhoramentos da fortificação no decorrer do século XVIII, nos quais se incluem a edificação do fortim do porto das barcas e de contraguardas.

Em 1920, a fortaleza é definitivamente vetada ao abandono e à ruína, até meados do século XX (1950), altura em que a DGEMN dá início a uma campanha de obras de reforço, conservação e restauro, que se prolongou praticamente até ao final do século (Figura 2.16).



Figura 2.16 - Fortaleza atual, século XXI, [Fonte - Aguiar e Pacheco, 2019]

2.3.3. Geografia

O imóvel encontra-se num planalto a cerca de 200 m de altitude, conforme ilustrado na Figura 2.17, e a sua envolvente topográfica varia entre a cota 146 m, a sul, no leito do Guadiana, até a uma cota variável da envolvente próxima a Nascente/ Norte/ Poente, que varia entre as cotas 160 m e 190 m.

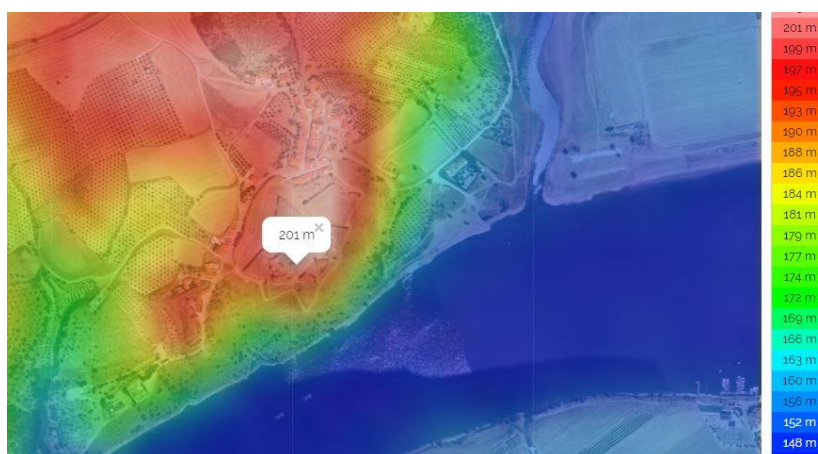


Figura 2.17 - Hipsometria, na zona de Juromenha e envolvente próxima, [Fonte - Topographic-map.com, 2022]

No local da fortaleza, os solos são na sua maioria xistos mosqueados, de acordo com Figura 2.18, existindo também outras rochas metamórficas, em menor quantidade. Os xistos em causa apresentam cor cinza, esverdeada e dourada.



Figura 2.18 - Extrato da Carta Geológica de Portugal - Juromenha 37-C, [Fonte - LNEG, 2022]

Os ventos dominantes são por norma dos quadrantes NO e SO, e variam entre 20 e 25 km/h; a temperatura média no ano de 2021, na aldeia de Juromenha, estima-se em 17 °C, com pouca oscilação nos últimos 32 anos (1979 a 2021). Contudo, as amplitudes térmicas dia/noite são consideráveis. A precipitação média no ano de 2021, na aldeia de Juromenha, estima-se em 487 mm, com pouca oscilação nos últimos 32 anos (1979 a 2021).

2.3.4. Intervenções e estado atual de conservação

Para o conhecimento efetivo das intervenções realizadas, é necessário conhecer as diversas fases construtivas da fortaleza, patentes na Figura 2.19, a sua transformação ao longo dos diversos períodos de ocupação, assim como a necessidade de adaptação às diversas realidades bélicas.

Na segunda metade do século XX, a ex-DGEM (Direcção Geral dos Edifício e Monumentos Nacionais), realizou uma campanha de intervenções na fortaleza, que permitiu que esta não entrasse num processo de degradação acentuada.

Com base nas descrições oficiais e detalhadas, patentes no site do SIPA (Sistema de Informação para o Património Arquitetónico), e diversos documentos de investigação, em particular os trabalhos de Bruno (2006) "*Contributo para o estudo e a conservação da muralha islâmica de taipa militar*", e de Aguiar e Pacheco (2019) "*Projeto de consolidação e restauro dos paramentos do perímetro abaluartado exterior e cerca islâmica e medieval interior*", é apresentado de forma desenhada e resumida, uma planta da fortaleza, (Figura 2.20), que congrega as diversas intervenções, à data, da referida Direcção Geral.



Figura 2.19 – Fases construtivas da fortaleza, [Fonte - adaptado de Bruno, 2006]

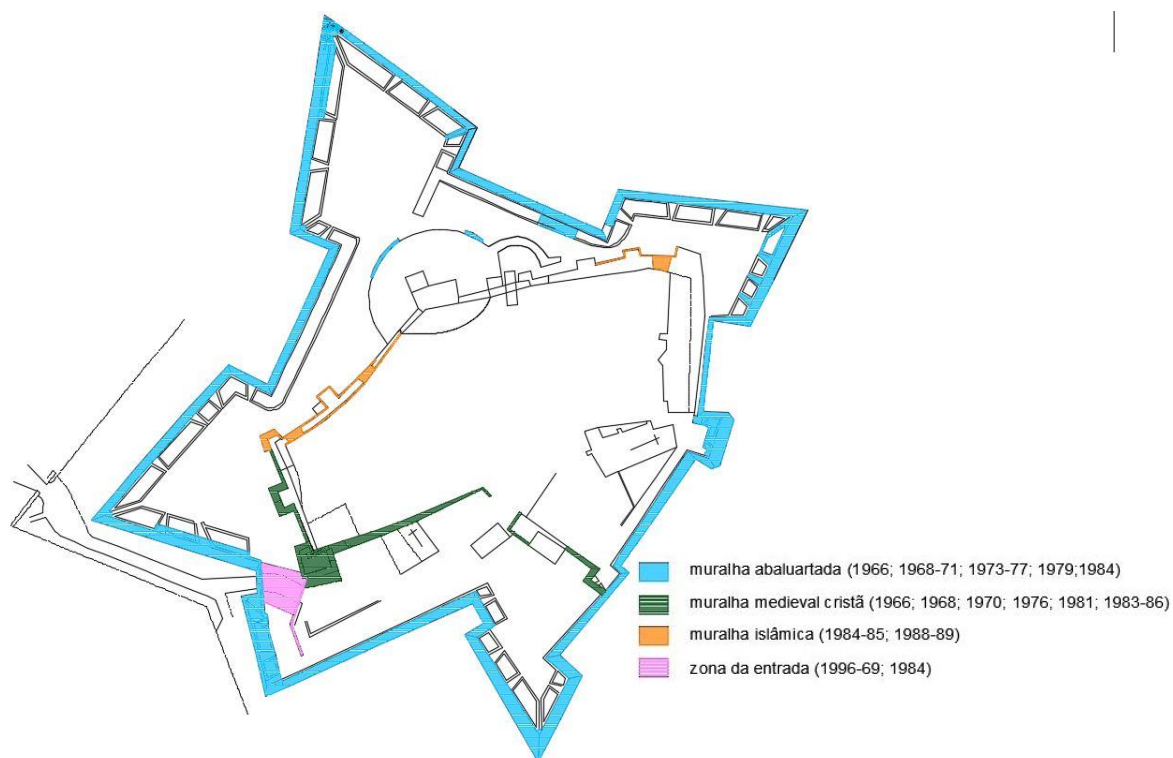


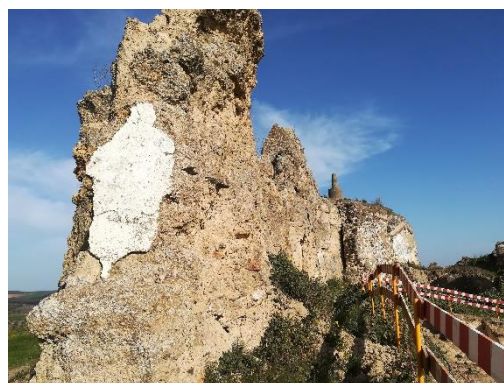
Figura 2.20 –Zonas de Intervenção pela DGEM da fortaleza de Juromenha, [Fonte - adaptado de Bruno, 2006]

2.3.5. Anomalias/ Degradação

A terra é um dos materiais de construção mais vulneráveis aos agentes climatéricos, pelo que é fundamental efectuar periodicamente intervenções de manutenção e conservação. Com efeito, a falta de manutenção, em conjunto com a perda de conhecimento e experiência na utilização de técnicas e materiais apropriados, fez com que a fortaleza ficasse em mau estado de conservação, como ilustra a Figura 2.21.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2.21 – Anomalias na muralha da fortaleza de Juromenha: (a) Desagregação por erosão, ação animal, com perda de secção e deformação generalizada da taipa [Fonte - Aguiar e Pacheco, 2019], (b) lacuna pontual na muralha de taipa, perda de secção e deformação generalizada por ação da erosão [Fonte - Autor], (c) degradação generalizada com perda de secção em paramento de taipa [Fonte - Aguiar e Pacheco, 2019], (d) derrocada parcial do muro de taipa [Fonte - Aguiar e Pacheco, 2019], (e) fendilhação vertical, perda de secção e ação animal, [Fonte - Aguiar e Pacheco, 2019] e (f) lacunas profundas, erosão, lacunas, fendilhação e derrocada parcial, [Fonte - Aguiar e Pacheco, 2019]

As principais anomalias encontradas nos paramentos de taipa da fortaleza de Juromenha (Figura 2.21) são a deterioração da superfície com perda de coesão, fendilhação e destacamentos, com elevada perda de secção, em particular da muralha medieval. Também o desgaste dos materiais do sistema construtivo, por via da exposição às condições climatéricas, em particular à água, e ação animal, aceleraram o processo de degradação, com perda generalizada do sistema construtivo, muito evidente na muralha medieval desta fortificação.

3. Taipa

3.1. A taipa como material de construção

Os reduzidos custos e a elevada disponibilidade da terra fizeram com que, durante milénios, esta se constituísse como um dos materiais de construção mais utilizados no mundo. Apesar de não ser exclusiva de zonas de reduzida pluviosidade, devido à sua sensibilidade à água, é em zonas de verões quentes e secos que a taipa encontrou maior expressão. Em Portugal, depois da segunda metade do século XX e com o surgimento e utilização disseminada de outros materiais de construção (e.g., betão e aço), a utilização de taipa entrou em declínio. Muitas das construções existentes, por pressões urbanísticas que pretendiam responder à necessidade de alojamento de uma população crescente, sobretudo nas zonas mais urbanas, acabaram por ser demolidas (Coradinho, 2018). Tendo em consideração as zonas com verões mais quentes e secos em Portugal, não surpreende que seja nas regiões do Alentejo e Algarve que se encontra a maior parte do património construído em taipa.

O património em taipa assume duas variantes arquitetónicas fundamentais: (i) estruturas militares (castelos, fortalezas e muralhas) e (ii) estruturas variadas e ligadas à vida rural, com realce para um vasto parque habitacional de casario térreo. A prolongada presença islâmica no sul de Portugal entre os séculos VIII e XIII foi um dos fatores determinantes à existência destes dois tipos de edificações, aliado à excelente adequação da taipa às condições geográficas e físicas da terra bem como às da sociedade camponesa do Alentejo (Pereira, 2018). Na Península Ibérica conhece-se a utilização de taipa em estruturas defensivas desde o século X, durante o designado período de domínio muçulmano, o qual originou fortificações (no sul de Portugal) como as de Moura, Paderne, Silves, Alcácer do Sal e Juromenha Portugal (Bruno, 2005).

Dependendo das utilizações referidas anteriormente, a taipa civil é composta por blocos de terra compactada *in situ*, enquanto a taipa militar, apresenta maior dureza, resistência e durabilidade, devido à incorporação de maior quantidade de cal, agregados diversos (cerâmicos, conchas, etc.) de maior dimensão, de acordo com a localização (Pereira, 2018). Nos tempos mais recentes, no entanto, edificações em taipa de índole militar e de uso rural têm tido atenções distintas por parte das entidades públicas no que diz respeito à sua conservação e reabilitação: as primeiras têm sido objeto de estudo e experimentação da técnica da taipa no campo da conservação, ao passo que as segundas se apresentam em bastante mau estado de conservação, por não ter existido qualquer esforço de reabilitação, tendo dado origem à deterioração de elevado número de casas em taipa dispersas pelo baixo Alentejo (Pereira, 2018).

3.2. A taipa como sistema construtivo

O termo “taipa”, como referido anteriormente, pode referir-se a um material de construção, mas trata-se também de um sistema construtivo bem definido. A taipa é uma técnica construtiva monolítica que consiste na compactação sucessiva de camadas de terra num estado seco a húmido, confinadas por um taipal de madeira (posteriormente removido), com recurso a um maço ou pilão (Figura 3.1). A taipa é assim um sistema de elevação de paredes portantes, construídas à fiada, com juntas desencontradas. Das cinco técnicas de construção monolíticas em terra conhecidas: terra escavada, terra vertida, terra empilhada, terra modelada e terra comprimida/apisoada (Rocha, 2015) a taipa é uma das técnicas mais recentes na história da construção em terra, que provavelmente evoluiu a partir do sistema de terra em cofragem (Brito, 2014).

A taipa tradicional é manual, resulta de várias fases de preparação e elaboração, sendo que, normalmente, a terra era escavada, regada e misturada no local da obra. Eram utilizados vários utensílios tradicionais, Figura 3.1, como dois taipais, que assentavam em três agulhas colocadas por trancas, três pares de costeiros, um frontal (ou dois, no início de cada nível) e três côvados. De um modo sucinto, a taipa é um sistema construtivo de levantamento de paredes portantes, construídas às fiadas e com juntas desencontradas.

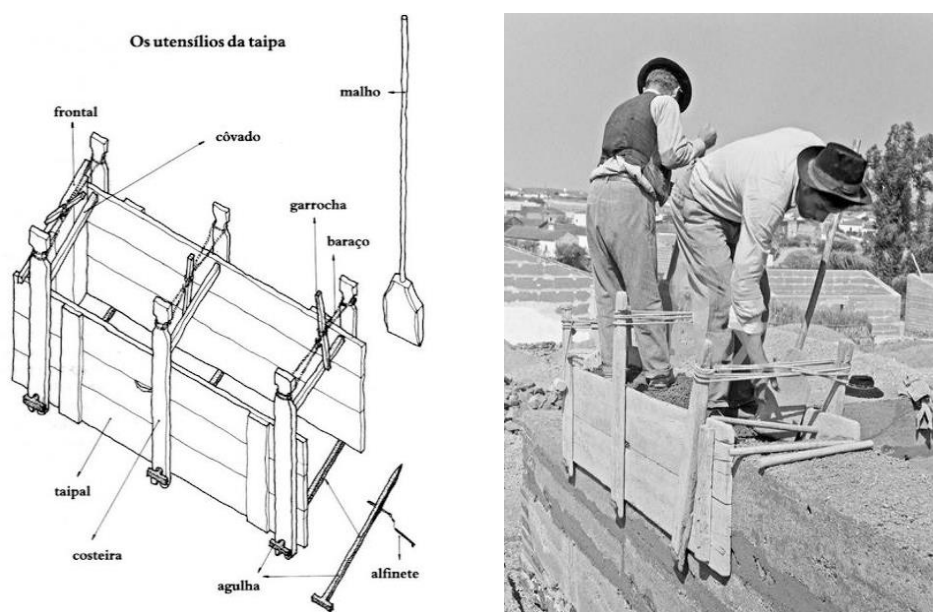


Figura 3.1 – Utensílios da taipa em Alfundão, Ferreira do Alentejo, em 1955, [Fonte - OAPIX, 1955]

Em mais detalhe, as paredes de taipa, iniciavam-se pelas fundações em pedra argamassada, que se elevavam acima do nível do solo, montando-se os taipais no soco. Posteriormente a terra era compactada em camadas de cerca de 0,10 m de altura e 0,50 m de espessura de parede, até o taipal ficar totalmente preenchido. Em seguida o taipal era desmontado e montado novamente para realização do novo bloco de taipa adjacente. Terminada a primeira fiada, o taipal era novamente montado, para execução do 1º bloco do nível acima, de forma que, as juntas verticais ficassem desencontradas. Nas juntas horizontais das fiadas de taipa, podia ser introduzida cal em pó ou argamassa de cal (Ferreira, 2017). A terra utilizada na construção de paredes de taipa não podia conter material orgânico (ramos e pedaços de madeira), a fim de evitar a colonização biológica ou o aparecimento de fungos, com o apodrecimento da matéria orgânica.

3.3. A taipa militar

A taipa militar distingue-se, no essencial, da taipa civil (em particular, da utilizada na arquitetura rural) por (i) possuir uma mistura ligante com maior dureza e resistência mecânica (devido à adição de cal e materiais cerâmicos à terra) e (ii) devido às métricas utilizadas, na qual se emprega o duplo côvado¹ como medida-padrão (Bruno, 2005). Ainda é possível observar evidências da utilização desta técnica na atualidade em algumas muralhas e “torres albarrãs” (torres maciças, pertencentes às muralhas mas destacadas das mesmas) em diversas localidades entre Lisboa e Tavira. No Alentejo e Algarve é onde se encontram com maior incidência, em fortificações isoladas ou inseridas em aglomerados urbanos (Pereira, 2018).

Chagas (1995) refere que a taipa militar teve origem no império romano apesar de ter sido muito utilizada e difundida pelos muçulmanos. A técnica utilizada é muito semelhante à utilizada na taipa tradicional, recorrendo-se também a tecnologia muito simples que não carecia de mão-de-obra especializada nem requeria grandes recursos materiais. Uma das suas grandes vantagens quando utilizadas para erguer fortificações era a rapidez de execução e economia de recursos face à alvenaria de pedra; estes eram fatores de enorme relevância em épocas de constantes batalhas. Adicionalmente, as muralhas em taipa militar apresentavam maior capacidade de absorção de energia cinética (do que as muralhas em alvenaria de pedra) quando atingidas por projéteis (Chagas, 1995).

¹ Unidade de medida utilizada por vários povos antigos (babilônios, egípcios e hebreus), considerada como uma medida de distância entre o dedo médio e o cotovelo (Entrelinhas Bíblicas, 2022).

Graça (2012) refere que a taipa militar se apresenta sob a forma de paredes espessas que possuem três funções principais: (i) a função resistente, (ii) a aptidão de regular a temperatura e humidade no interior da construção e (iii) a função de absorver as ondas sonoras. A taipa militar caracteriza-se pela adição de grandes percentagens de cal à terra. A longo prazo, devido à carbonatação da cal, a taipa militar ganha dureza e resistência consideráveis. Além da presença de cal aérea, Graça (2012 citando Pinto, 1992) refere ainda que é possível identificar outras diferenças entre a taipa militar e a taipa civil, tais como a espessura e altura das paredes, maiores na primeira por comparação com a segunda. Graça (2012) refere que na taipa militar a espessura das paredes varia entre 1,70 e 1,80 m e a dimensão dos painéis ou taipaladas é de aproximadamente 2,30 m, superior aos 1,50 m da taipa civil. Adicionalmente, a altura do embasamento da taipa militar varia entre 1,30 e 1,50 m; na taipa civil a altura geralmente não ultrapassa 0,60 m. A elevada espessura das paredes de taipa militar leva a que não sejam necessários reforços para assegurar a sua verticalidade (Graça, 2012). A Tabela 3.1 apresenta as principais características geométricas da taipa militar em cinco fortalezas e castelos do Alentejo e Algarve, resultando de um levantamento realizado por Bruno (2005). Como se pode observar, as medidas obtidas nos castelos de Alcácer do Sal, Juromenha, Moura, Paderne e Silves, traduzem a utilização de côvados de 40 a 45 cm, em geral aplicados no taipal lateral com a relação de 2 para 4. No entanto, verifica-se que os comprimentos dos taipais apresentam muitas vezes ligeiras diferenças para uma mesma altura, no mesmo pano de muralha. Estas variações poderiam decorrer de acertos efetuados durante a execução.

Tabela 3.1 - Espessura das muralhas, alturas e comprimentos dos taipais de cinco fortalezas e castelos do Alentejo e Algarve [Fonte - adaptado de Bruno, 2005]

Muralha	Espessura da muralha (m)	Altura do taipal (m)	Comprimento do taipal (m)
Alcácer do Sal	2,10	0,90	1,80
Juromenha	1,55 a 1,80	0,80 a 0,90	1,80
Moura	2,10	0,84	-
Paderne	1,98	0,84 a 0,86	2,64
Silves	2,20	0,85 a 0,90	1,65 a 1,75

3.3.1. Materiais constituintes e distribuição granulométrica

Chagas (1995) caracterizou três amostras (carotes) de taipa militar recolhidas na fortaleza de Alcácer do Sal. As três amostras foram recolhidas da muralha Almóada, no sector noroeste da fortaleza, cuja construção ou reconstrução data do século XII. Retirou-se uma amostra da zona da base da muralha, uma a meia altura da muralha e uma da zona do topo. A Figura 3.2 permite observar as carotes retiradas da muralha (Figura 3.2 (a) – base, Figura 3.2 (b) – meia altura e Figura 3.2 (c) – topo da muralha). A Figura 3.2 (a) permite observar que a taipa apresenta como parte da matriz ligante a cal aérea, evidenciado pela presença de nódulos de cal. Adicionalmente, verifica-se que os inertes grossos são constituídos por material pétreo e material cerâmico britado. Chagas (1995) refere também que os finos são compostos por areia e que a carote apresenta uma superfície irregular de pasta pouco compactada e pulverulenta devido, em parte, à degradação desses inertes.

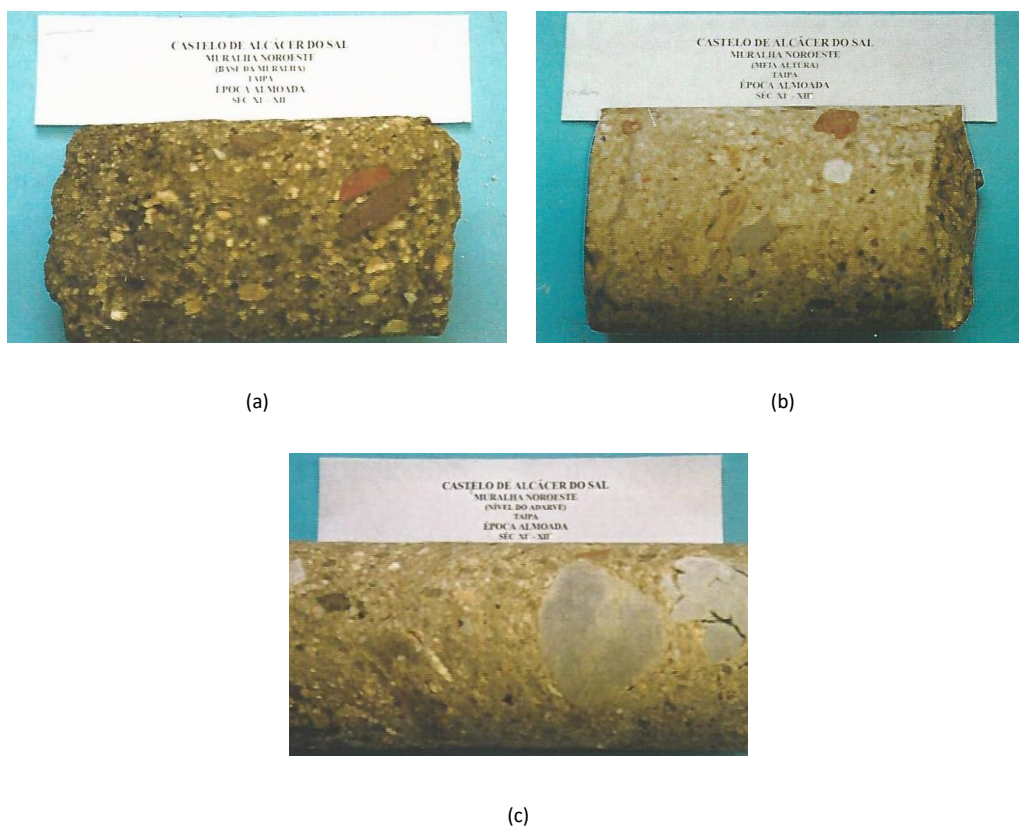


Figura 3.2 – Carotes de taipa militar da (a) base, (b) meia altura e (c) topo da muralha Almóada da fortaleza de Alcácer do Sal recolhidas por Chagas (1995)

A Figura 3.2 (b) permite perceber que a composição aparente da taipa militar presente na carote retirada a meia altura da muralha é semelhante à da carote retirada da base da muralha (Figura

3.2 (a)), evidenciando, no entanto, uma cor mais clara e uma menor quantidade de nódulos de cal. Verifica-se que a superfície da carote é mais regular do que a da anterior. Chagas (1995) refere também que a pasta presente nesta amostra é compacta e pouco porosa. Relativamente à carote recolhida no topo da muralha (Figura 3.2 (c)), Chagas (1995) salienta a existência de partículas finas de cor escura de origem desconhecida misturadas com a areia. Como se pode observar, o material pétreo desta amostra possui dimensões consideráveis e superiores aos encontrados nas restantes amostras; Chagas (1995) refere que a pedra terá origem exterior à localização da muralha. Tal como na amostra anterior, a superfície da amostra apresenta-se bastante mais regular do que a da amostra da base da muralha.

Numa análise mais detalhada e após desagregar as amostras de taipa com o intuito de as peneirar (apresentado adiante), Chagas (1995) refere ainda a existência de quartzo, pedaços de calcário fendilhado e a existência de partículas de escória na taipa militar da muralha Almoáda da fortaleza de Alcácer do Sal. Adicionalmente, indica que a matriz ligante seria composta por uma mistura de cal aérea e pozolana.

Mais recentemente, Coradinho (2018) caracterizou também, quanto à composição, amostras de taipa militar recolhidas do castelo de Paderne; em particular, da muralha noroeste da referida fortificação. As amostras (denominadas por Coradinho (2018) AM10 e AM11) encontram-se apresentadas na Figura 3.3.



Figura 3.3 – Amostras (a) AM10 e (b) AM11 de taipa militar estudadas por Coradinho (2018)

A Figura 3.4 apresenta as imagens obtidas com análises em microscópio eletrónico de varrimento (MEV) com espectroscopia por energia dispersiva (EDS) das amostras AM10 e AM11 de taipa militar estudadas por Coradinho (2018). Esta autora refere que a amostra AM10 é rica em cal cálcica e apresenta também agregados contendo quartzo, calcário, feldspatos e mica. A fase correspondente ao ligante apresenta uma considerável heterogeneidade de composição ao longo da amostra resultante de uma maior ou menor homogeneização da terra com a cal. Relativamente à amostra AM11, Coradinho (2018) realça que se trata de uma taipa menos rica em cal cálcica (face à AM10), possuindo, no entanto, uma composição semelhante.

Adicionalmente, com a observação ao microscópio das referidas amostras, Coradinho (2018) refere que a amostra AM10 possui uma cor castanha/avermelhada e contém cal e terra com presença de agregados essencialmente calcários e zonas bastante enriquecidas em cal (nódulos irregulares). Verificou-se ainda que a porosidade era elevada e que a dimensão dos agregados variava entre a de uma areia grosseira e a de um cascalho. O grau de rolamento é maioritariamente sub-rolado e a granulometria dos agregados é heterogénea. A amostra AM10 apresenta um traço volumétrico 1:1,5 (em que o ligante é constituído por cal e terra). A amostra AM11 corresponde igualmente a uma amostra de taipa com cor avermelhada constituída por cal, terra e agregados essencialmente calcários, além de zonas bastante enriquecidas em cal (nódulos irregulares). Verifica-se a existência de alguma fissuração com bordos aparentemente sem recristalizações. A dimensão dos agregados corresponde àquela do intervalo dimensional das areias finas a grosseiras. O grau de rolamento é variável entre o sub-anguloso e o sub-rolado e a sua granulometria é relativamente homogénea. Apresenta também um traço volumétrico de 1:1,5, tal como a amostra AM10.

Chagas (1995) obteve também a distribuição granulométrica das amostras de taipa recolhidas. A Figura 3.5 apresenta as curvas granulométricas (produzidas pela autora com base nos valores reportados por Chagas (1995)) das três amostras de taipa.

Como se pode observar, as três amostras apresentam curvas granulométricas muito semelhantes; a carote da base da muralha apresenta uma maior percentagem de finos e a carote retirada a meia altura da muralha a menor percentagem de finos, apresentando a carote do topo da muralha uma percentagem intermédia. De facto, Chagas (1995) determinou também os módulos de finura das várias amostras tendo obtido, respetivamente, valores de 1,91, 2,29 e 2,00 para as amostras da base, meia altura e topo da muralha.

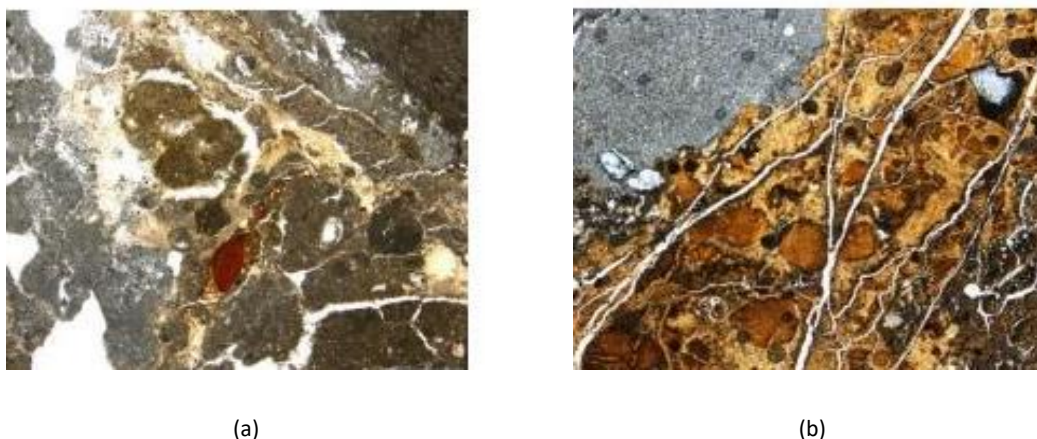


Figura 3.4 - Imagens obtidas com MEV/EDS das amostras AM10 e AM11 estudadas por Coradinho (2018)

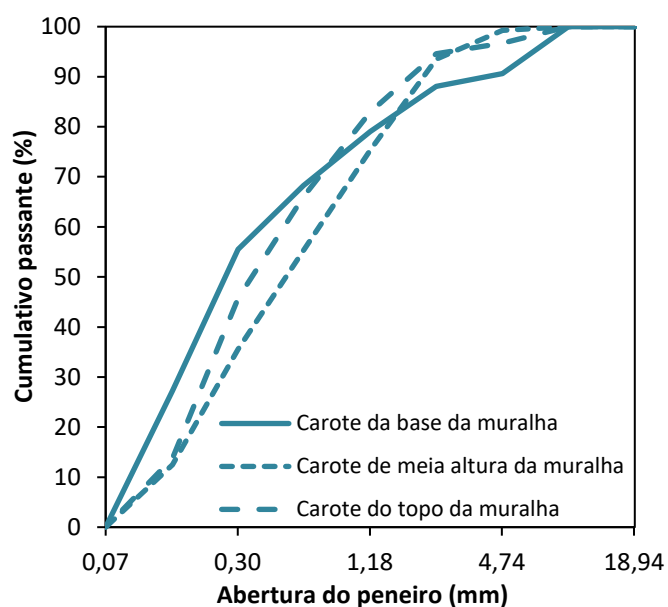


Figura 3.5 – Curvas granulométricas das amostras de taipa estudadas por Chagas (1995)

3.3.2. Massa volúmica e características de transporte de água

Chagas (1995) determinou também a massa volúmica (MVA) aparente das carotes de taipa militar extraídas da muralha Almóada da fortaleza de Alcácer do Sal. A obtenção dos valores foi conseguida dividindo o valor da massa dos carotes pelo seu volume exterior. Na Tabela 3.2 é possível observar que os valores variam entre 1694 e o 1830 kg/m³. Os resultados corroboram o que este autor afirmou relativamente ao estado de conservação das taipas: a taipa militar da

base da muralha, que apresentava uma pasta menos compacta e mais pulverulenta é de facto a que apresenta menor massa volúmica aparente.

Os valores obtidos por Chagas (1995) para as massas volúmicas aparentes da taipa militar são da mesma ordem de grandeza dos obtidos por Coradinho (2008), que obteve, para as amostras AM10 e AM11, caracterizadas anteriormente, valores de massa volúmica aparente, respetivamente, de 1545 e 1805 kg/m³. Coradinho (2008) refere também que a menor massa volúmica aparente da amostra AM10 se pode dever a um maior número de nódulos de cal. Ferreira (2017) no seu estudo sobre a caracterização da construção em terra na região de Leiria, obteve valores de massa volúmica aparente semelhantes às dos restantes autores, de acordo com a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Resumo dos resultados obtidos nos estudos efetuados por Chagas (1995), Ferreira (2017) e Coradinho (2018): coeficiente capilar, massa volúmica aparente e resistência à compressão

Autor	Edifício	Amostra	C.C. [kg/m ² .min ^{0,5}]	MVA [kg/m ³]	Rc [MPa]
Chagas, 1995	Militar Fortaleza de Alcácer do Sal	base da muralha	-	1694	2,18
		meia altura da muralha	-	1830	3,96
		topo da muralha	-	1768	8,48
Ferreira, 2017	Civil	T1	1,12	1510	0,44
		T2	0,99	1360	0,74
		T3	0,74	1790	0,73
Coradinho, 2018	Militar Fortaleza de Paderne	AM10	1,86	1545	1,69
		AM11	2,02	1805	1,62
		CP2018B	1,49	1959	1,18
		CP2018C	2,42	1758	1,08
		CP2018D	2,56	1904	1,43

Além da massa volúmica aparente, Ferreira (2017) estudou também a absorção de água por capilaridade de algumas amostras de taipa civil da região de Leiria, cujos resultados se apresentam na Tabela 3.2. Importa lembrar que a conservação da taipa está profundamente ligada à sua exposição aos agentes atmosféricos, que provocam a sua erosão, em particular, a água. Assim, a absorção de água por capilaridade pela taipa está bastante relacionada com as suas características intrínsecas, em particular com o seu volume de vazios acessíveis (porosidade aberta). Comparando os valores dos coeficientes de capilaridade (C.C.) obtidos por Ferreira

(2017) para a taipa civil da região de Leiria com os obtidos por Coradinho (2018) para a taipa militar do Castelo de Paderne, é possível verificar que a segunda apresenta um coeficiente de capilaridade superior à primeira. Esta diferença poderá estar associada à presença de maior dosagem de ligante (nódulos de cal) na taipa militar, que promove uma mais rápida ascensão capilar, apesar de contribuir para uma maior resistência mecânica (abordado em seguida)

3.3.3. Resistência mecânica

No seu trabalho sobre a caracterização das amostras de taipa militar da muralha Almóada da fortaleza de Alcácer do Sal, Chagas (1995) submeteu as três carotes recolhidas, cuja caracterização se referiu anteriormente (da base, meia altura e topo da muralha), também a ensaios de compressão. Na Tabela 3.2, apresentada anteriormente, é possível observar os valores da tensão de rotura à compressão (R_c) das três carotes. Como se pode verificar, à medida que a altura da muralha aumenta, a tensão de rotura à compressão da taipa militar também aumenta; em particular, e apesar do número reduzido de amostras, a tensão de rotura quadruplica entre a base da muralha e o seu topo. Para esta última, Chagas (1995) reporta que se observa, na microestrutura interna, um tipo de carbonato de cálcio diferente, composto por plaquetas hexagonais unidireccionais - hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 (portlandite). Verifica-se que existe também (Tabela 3.2), apesar de apresentar alguma dispersão, alguma correlação entre a tensão de rotura à compressão e a massa volúmica aparente das amostras: uma maior massa volúmica implica, em geral (assumindo uma mesma composição das várias amostras), uma maior resistência.

Coradinho (2008) também efetuou a caracterização mecânica das taipas militares que estudou, tendo ensaiado à compressão um provete de taipa militar AM10 e dois provetes de taipa militar AM11 (utilizando EN 1015-11 (1999), com adaptações, baseadas na FE LNEC Pa 42 (LNEC 2015)). Não se registaram diferenças significativas entre as tensões de rotura à compressão das diversas amostras tendo a autora obtido para a taipa militar do castelo de Paderne uma resistência à compressão (média $\pm$ desvio padrão) de $1,78 \pm 0,22$ MPa. Verifica-se que a resistência à compressão da taipa do Castelo de Paderne é duas a três vezes inferior à da muralha Almóada da fortaleza de Alcácer do Sal. De acordo com o ensaio efetuado por Bruno (2000), segundo a especificação do LNEC E196 (1966), a taipa militar da muralha Almóada da fortaleza de Alcácer do Sal possui uma percentagem de finos (na ordem dos 90%) muito superior à da taipa militar do castelo de Paderne (cerca de 65%) o que pode explicar as diferenças obtidas: o material fino

(onde se inclui a cal e a terra, a mistura ligante) é o responsável pela coesão da taipa militar e, por conseguinte, pela resistência mecânica.

Como aludido anteriormente, a resistência mecânica da taipa estudada por Coradinho (2018) é, por outro lado, cerca do dobro da obtida por Ferreira (2017) tendo o ensaio à compressão sido baseado nas normas NTE E.080 (2017) e HB 195 (2002), Tabela 3.2. Tal como referido, um dos fatores determinantes para a diferença de resistências à compressão terá sido a utilização de cal na taipa do castelo de Paderne, inexistente na taipa civil da região de Leiria.

Mais recentemente, Braga e Estevão (2012), utilizando a NP EN 1052-1 (2002), e Ribeiro (2016), utilizando a EN 1015-11 (1999), testaram à compressão, respetivamente, provetes de taipa tradicional e blocos de terra compactada, tendo obtido valores médios de tensões de rotura, respetivamente, de 0,87 e 1,38 MPa. Novamente, a inexistência de cal nestes materiais à base de terra, poderá explicar, em parte, uma gama de resistências mecânicas inferiores às das taipas militares estudadas por Chagas (1995) e Coradinho (2008).

4. Descrição da campanha experimental

4.1. Introdução

Com o intuito de caracterizar as taipas militares das Fortalezas de Alcácer do Sal e de Juromenha, foram recolhidas amostras nos referidos locais, as quais foram sujeitas a uma caracterização semelhante de forma a possibilitar a comparação das suas propriedades. As amostras de taipa da fortaleza de Juromenha foram recolhidas nos dias 5 e 27 de janeiro de 2022 e as amostras de taipa da fortaleza de Alcácer do Sal foram recolhidas no dia 24 de fevereiro de 2022. Em ambos os casos, a recolha das amostras foi acompanhada por pessoal técnico (da empreitada em curso no caso de Juromenha e da câmara municipal no caso de Alcácer do Sal).

A metodologia experimental utilizada para caracterizar as amostras de taipa seguiu, no geral, os seguintes passos: (i) após recolha e identificação, e já em laboratório, (ii) as amostras foram limpas com escovas macias e água, de forma a retirar partículas soltas e vestígios colonização biológica (musgo, líquenes), ou fragmentos desagregados, depois, (iii) as amostras foram pesadas e fotografadas antes e após este procedimento de limpeza, sendo posteriormente novamente identificadas e, por fim, (iv) as amostras foram selecionadas e cortadas com uma serra de disco com vista à obtenção de provetes com faces planas, necessários à realização dos diversos ensaios de caracterização, conforme descrito em detalhe adiante.

Todos os ensaios descritos em seguida foram realizados no Laboratório de Reabilitação e Construção da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, do Instituto Politécnico de Setúbal, à exceção da caracterização colorimétrica que foi realizada no Laboratório de Construção do Instituto Superior Técnico, da Universidade de Lisboa.

4.2. Descrição das amostras e metodologia experimental

As amostras foram retiradas de duas fortalezas localizadas em locais diferentes, uma junto à costa (Alcácer do Sal) e outra no interior (Juromenha) de Portugal e de diferentes locais/épocas de construção. Assim, foi necessário proceder à sua identificação inequívoca, conforme apresentado na Tabela 4.1.

Nas Figuras 4.1 a 4.9 apresentam-se as plantas das fortalezas e os locais de recolha das diversas amostras de taipa que foram posteriormente caracterizadas. As amostras em causa foram obtidas, em grande parte, a partir de elementos soltos (desconhecendo-se a data da sua

separação), fruto da degradação da muralha medieval. Relativamente às amostras de Alcácer, a amostra A/I/1, elemento de taipa solto, pertence ao que resta do troço muralha islâmica, junto à torre minarete (zona norte da muralha). A amostra A/I/2 trata-se de um elemento retirado da torre octogonal, da fase islâmica (zona norte/ nascente da muralha). A amostra A/I/3 é um elemento de taipa solto da muralha norte, do plano exterior à fortaleza, podendo tratar-se de taipa de reconstituição, provavelmente da campanha de conservação das muralhas de taipa que ocorreu nos anos de 1982 e 1983. A amostra A/I/6, elemento de taipa retirado da muralha sul, no plano interior junto à torre do relógio, trata-se provavelmente de uma taipa de reconstituição fruto da intervenção de consolidação de 1975.

Tabela 4.1 – Identificação das taipas recolhidas e utilizadas nos ensaios

Séc.	Referências	Descrição
X e XI	J/I/#.#	Juromenha (J); Islâmica (I), Zona.Amostra (#.#) - Taipa da muralha medieval Islâmica
XII e XIII	A/I/#.#	Alcácer (A); Islâmico (I), Zona.Amostra (#.#) - Taipa da muralha medieval Islâmica
XIII XIV	J/C/#.#	Juromenha (J); Cristã (C), Zona.Amostra (#.#) - Taipa da muralha medieval Cristã

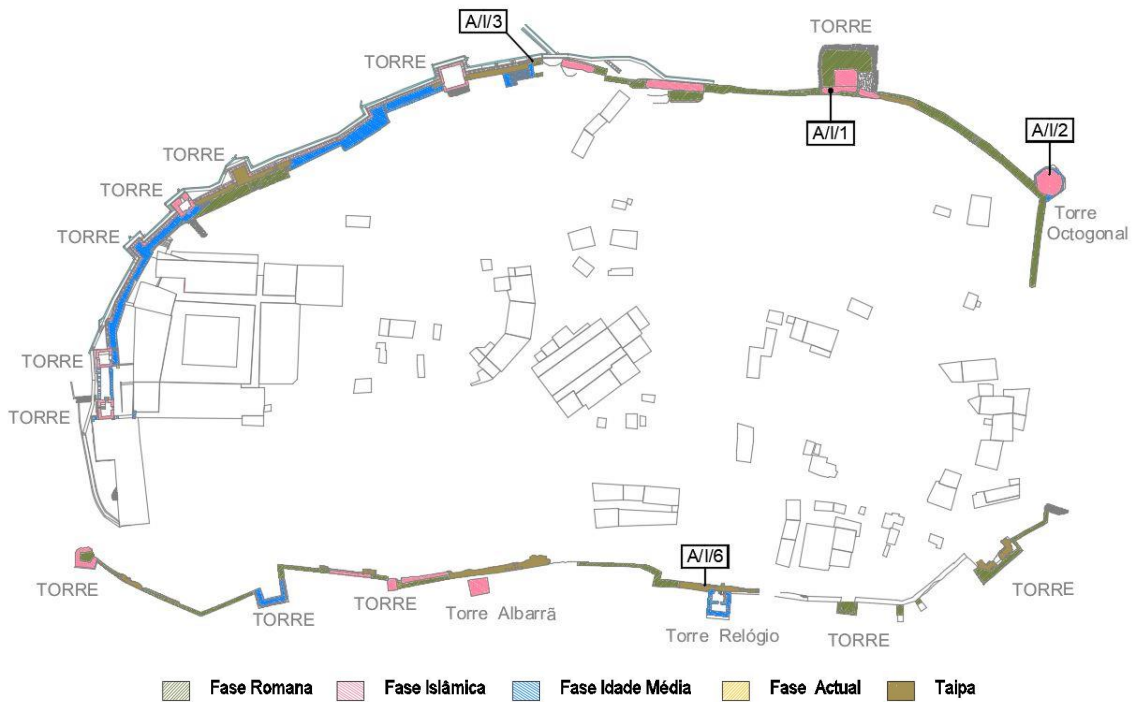


Figura 4.1 – Planta de Alcácer do Sal, com identificação dos locais de onde foram retiradas as amostras, [Fonte - Eugénio *et al.*, 2019]

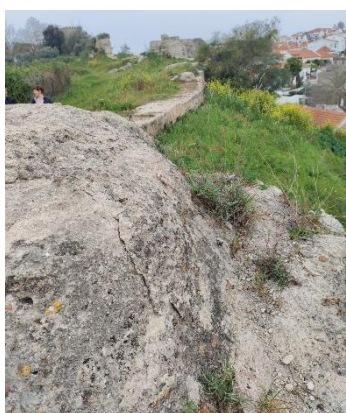


(a)



(b)

Figura 4.2 – A/l/1 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]



(a)



(b)

Figura 4.3 – A/l/2 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]



(a)



(b)

Figura 4.4 – A/l/3 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]

No que respeita às amostras da fortaleza de Juromenha, estas foram obtidas, em grande parte, a partir do desmonte de troços de muralha de taipa realizados no decorrer da empreitada de conservação da fortificação que se encontrava em curso no período da elaboração deste

trabalho. A amostra J/C/1 trata-se de um bloco de taipa retirado, em fase de obra, da zona da muralha medieval cristã, junto à capela da Misericórdia de Juromenha. A amostra J/I/1 provém de um bloco de taipa retirado, em fase de obra, da zona da muralha mediável islâmica século X e XI, que se prevê da origem da fortificação. Por fim, a amostra J/C/2 provém de um bloco de taipa retirado, em fase de obra, da zona de transformação da muralha medieval.



Figura 4.5 – A/I/6 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]

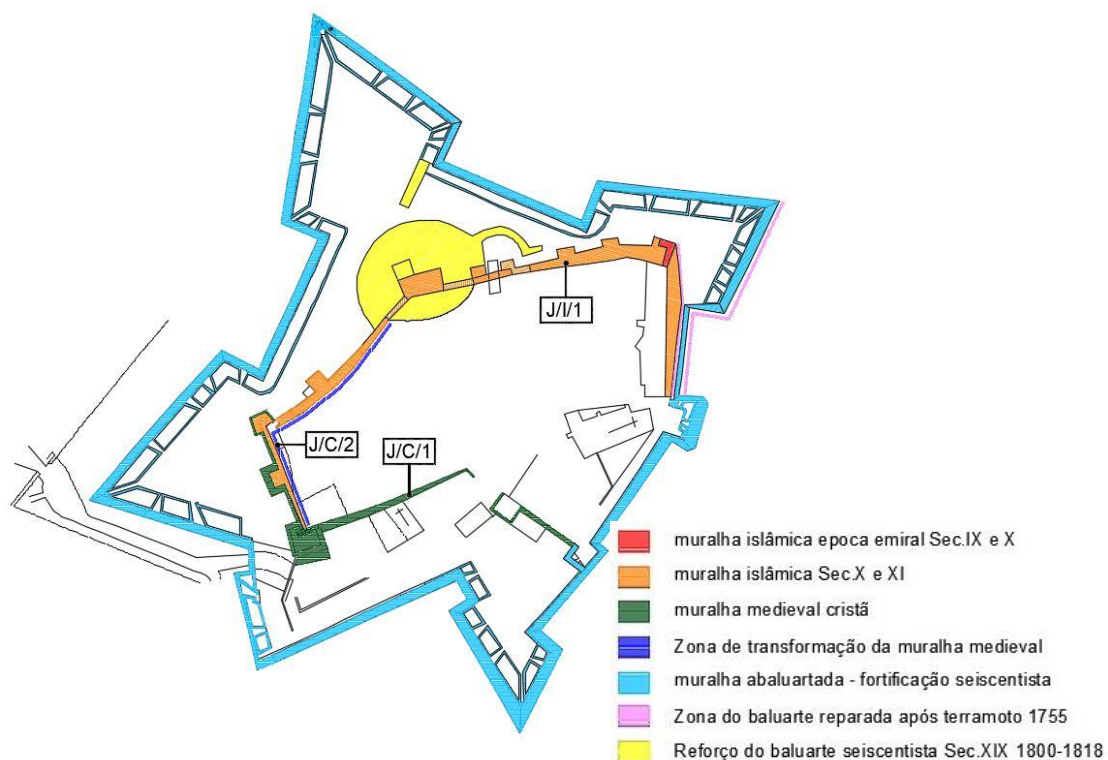


Figura 4.6 – Planta de Juromenha, com identificação dos locais de onde foram retiradas as amostras, [Fonte – Autor]

A metodologia experimental adotada encontra-se representada na Figura 4.10 e na Tabela 4.2. Na primeira é possível observar o encadeamento dos ensaios realizados que começou pelos não destrutivos (por exemplo, colorimetria, absorção de água por capilaridade) e culminou na realização dos ensaios destrutivos (por exemplo, resistência à compressão e análise granulométrica). Na segunda, apresenta-se a correspondência entre as amostras de taipa de cada fortaleza e os ensaios realizados.



(a)



(b)

Figura 4.7 – J/C/1 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]



(a)



(b)

Figura 4.8 – J/I/1 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]



(a)



(b)

Figura 4.9 – J/C/2 (a) Localização; (b) Amostra, [Fonte – Autor]

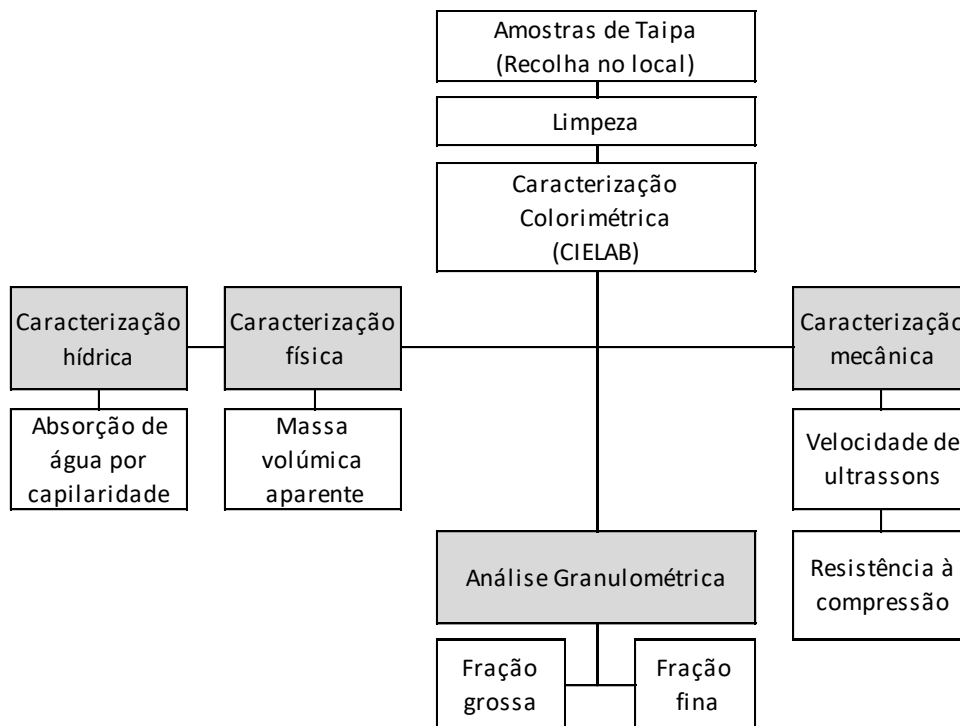


Figura 4.10 – Metodologia experimental adotada nos ensaios realizados em laboratório, [Fonte – Autor]

Tabela 4.2 – Ensaios realizados e respetivas amostras por fortaleza

Ensaio	Amostras - Taipa	
	Alcácer do Sal	Juromenha
Caracterização colorimétrica	A/I/2.1; A/I/3.7; A/I/6	J/C/1.3; J/C/1.7; J/C/2.1;
Absorção de água por capilaridade	A/I/1.6; A/I/2.1; A/I/3.6; A/I/3.7	J/C/1.3; J/C/1.4; J/C/2.2; J/I/1.3; J/I/1.5
Massa volúmica aparente	A/I/ 1.1; A/I/1.2; A/I/1.3; A/I/1.4; A/I/3.1; A/I/3.2; A/I/3.3; A/I/3.4	J/C/1.2; J/C/2.1; J/I/1.1; J/I/1.2
Velocidade de ultrassons	A/I/ 1.1; A/I/1.2; A/I/1.3; A/I/1.4; A/I/3.1; A/I/3.2; A/I/3.3; A/I/3.4	J/C/1.1; J/C/1.2; J/C/2.1; J/I/1.1; J/I/1.2
Resistência à compressão	A/I/1.1; A/I/1.3; A/I/1.4; A/I/3.3	J/C/1.1; J/C/1.2; J/C/2.1
Análise granulométrica	A/I/1; A/I/2; A/I/3	J/C/1; J/C/2; J/I/1

4.3. Caracterização colorimétrica

Objetivo, enquadramento normativo e amostras

O presente ensaio tem como objetivo caracterizar, de forma quantitativa, a cor das amostras de argamassa de acordo com o espaço de cor CIE 1976 ($L^*a^*b^*$), ou CIELAB, e que permite definir a cor de um material com base nas coordenadas L^* , a^* e b^* (EN ISO/CIE 11664-4:2019). Nos parâmetros utilizados neste método, o L^* corresponde à luminosidade com um intervalo de

valores entre 0 (preto) e 100 (branco). O parâmetro a^* corresponde à variação entre as cores vermelho (valores positivos de a^*) e verde (valores negativos de a^*). Por fim, o parâmetro b^* corresponde à variação entre as cores amarelo (valores positivos de b^*) e azul (valores negativos de b^*). A Figura 4.12 (a) apresenta uma representação 2D do espaço de cor CIELAB. O ensaio foi realizado a seis amostras (três de Alcácer do Sal e três de Juromenha, (Tabela 4.3 e Figura 4.11).

Tabela 4.3 – Amostras utilizadas na Caracterização Colorimétrica das taipas

Ensaio	Caracterização colorimétrica					
Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal			Fortaleza de Juromenha		
	A/I/2.1	A/I/3.7	A/I/6	J/C/1.3	J/C/1.7	J/C/2.1

Equipamentos e materiais utilizados

- Colorímetro da marca *Angguang*®, modelo WSD-3A (Figura 4.5 (b));

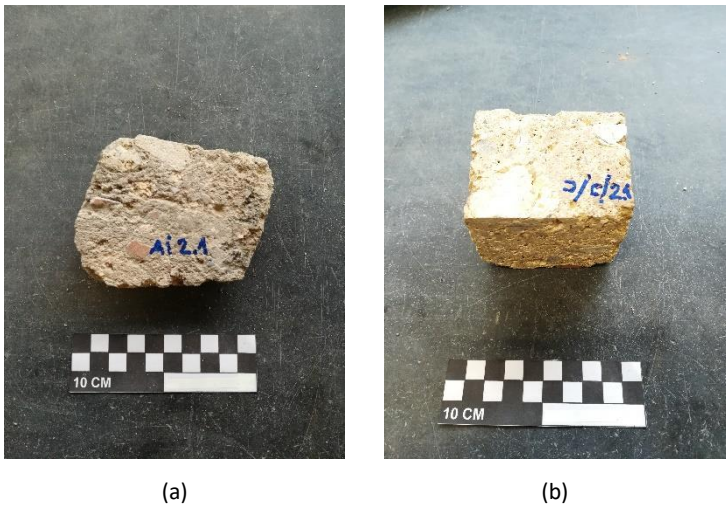


Figura 4.11 – (a) e (b) – Provetes para ensaio, [Fonte – Autor]

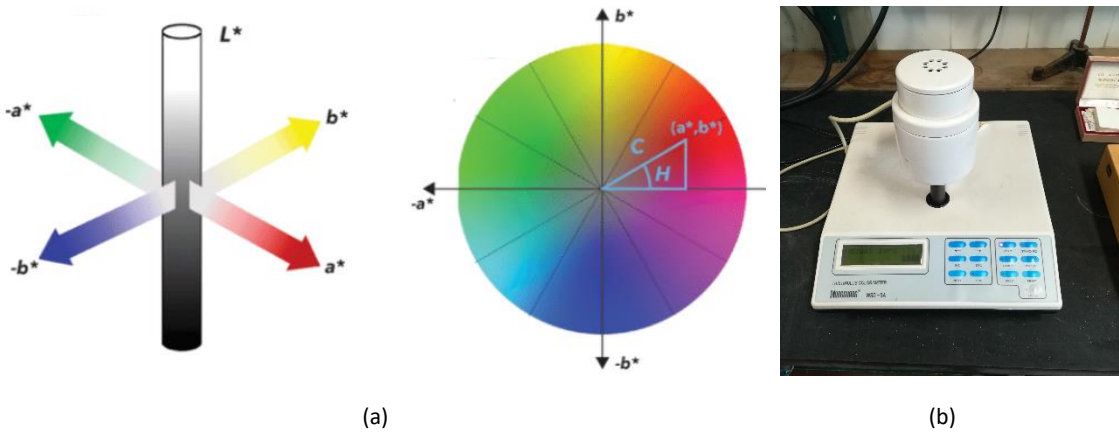


Figura 4.12 – (a) Parâmetros do espaço de cor CIELAB (“L” luminosidade claro/escuro, “a” variação verde /vermelho, “b” variação azul/amarelo, [Fonte – Ali Israr (2017)]; (b) Colorímetro, [Fonte – Autor]

Procedimento experimental

Procedeu-se à calibração do equipamento e posteriormente para cada uma das amostras, avaliou-se a cor sempre que possível em três pontos distintos da amostra (dada alguma variabilidade de cor devido à heterogeneidade de materiais da taipa bem como possível influência de colonização biológica ou de sujidade) e, em cada um desses pontos, efetuaram-se três medições, o que perfaz nove medições por amostra.

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

Com base nos valores das coordenadas L^* , a^* e b^* é ainda possível calcular o croma (C^*), parâmetro está relacionado com a saturação da cor, de acordo com a seguinte expressão:

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (4.1)$$

4.4. Caracterização hídrica

4.4.1 Absorção de água por capilaridade

Objetivo, enquadramento normativo e amostras

O ensaio tem como objetivo a determinação da absorção de água por capilaridade das amostras de taipa recolhidas, tendo sido realizado com base na EN 1015-18 (2002), Rilem II.6 (1980) (destinado à caracterização de argamassas) e seguindo as recomendações de Veiga (2004). Na realização deste ensaio consideraram-se nove provetes (quatro de Alcácer do Sal e cinco de Juromenha (Tabela 4.4)).

Tabela 4.4 – Amostras utilizadas na determinação da absorção de água por capilaridade das taipas

Ensaio	Absorção de Água por Capilaridade								
Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal				Fortaleza de Juromenha				
	A/I/1.6	A/I/2.1	A/I/3.6	A/I/3.7	J/C/1.3	J/C/1.4	J/C/2.2	J/I/1.3	J/I/1.5

Equipamentos e materiais utilizados

- Balança digital com precisão de 0,1 g;
- Estufa ventilada;
- Tabuleiros e ripas;
- Geotêxtil;
- Cestos metálicos;
- Água;
- Caixa plástica com tampa.

Procedimento experimental

O ensaio seguiu os seguintes passos:

- As amostras foram previamente secas em estufa ventilada (temperatura de 60 °C, durante 48h, Figura 4.13 (a));
- Foram determinadas as áreas em planta das amostras com papel milimétrico (Figura 4.13 (b));
- Registaram-se as massas secas das amostras (Figura 4.13 (c)) e as massas dos cestos metálicos juntamente com os geotêxteis saturados com água (Figura 4.13 (d));
- Os cestos contendo o geotêxtil foram inicialmente colocados sobre ripas em tabuleiros metálicos previamente preenchidos com uma lâmina de água (a lâmina de água foi depois ajustada, de tal forma que ficasse em contacto com a face inferior dos geotêxteis), por forma a manter a linha de água na base do provete, promovendo a sua ascensão por capilaridade;
- As amostras foram colocadas sobre os geotêxteis e o cronómetro foi iniciado (Figura 4.14 (a));
- A massa de cada conjunto (amostra, geotêxtil e cesto) foi registada a cada 3 minutos até aos 15 minutos, a cada 5 minutos até aos 60 minutos, aos 75, 90 e 120 minutos e a cada 2 horas até às 8 horas de ensaio (Figura 4.14 (b)) e (Tabela 4.5);
- Antes do registo da massa de cada conjunto, este foi colocado por instantes sobre um pano húmido por forma a remover o excesso de água da base;
- Periodicamente, a quantidade de água nos tabuleiros foi retificada de forma que a superfície livre da água se mantivesse em contacto com a face inferior dos geotêxteis.

Tabela 4.5 – Intervalos de tempo entre pesagem dos provetes

Tempo [min]	Intervalo de tempo
3, 6, 9, 15	3 em 3 min
20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60	5 em 5 min
75, 90, 120	15 em 15 min
240, 360, 480	120 em 120 min

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

Com base nos valores das medições periódicas das massas, foi possível obter curvas de absorção capilar. A zona inicial (aproximadamente linear) das curvas permitiu calcular o coeficiente capilar (C.C.),

$$C.C. = \frac{\Delta m_2}{A\sqrt{t_2}} - \frac{\Delta m_1}{A\sqrt{t_1}} \quad (4.2)$$

onde Δm_1 e Δm_2 são as massas de água absorvidas pela amostra nos instantes iniciais, t_1 , e final, t_2 , considerados e A é a área em planta da amostra.



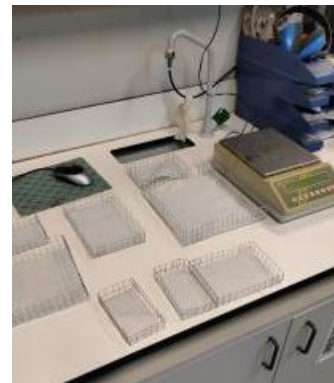
(a)



(b)



(c)

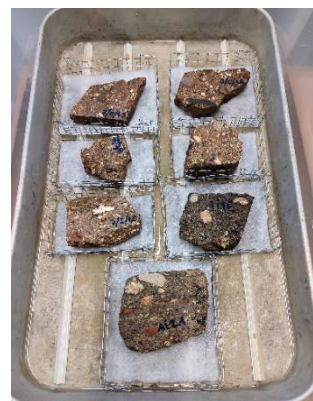


(d)

Figura 4.13 – (a) Secagem das amostras em estufa, (b) determinação das áreas em planta das amostras e determinação das massas (c) das amostras e (d) dos cestos metálicos e geotêxtis, [Fonte – Autor]



(a)



(b)

Figura 4.14 – (a) Início do ensaio; (b) - Fim do ensaio com os provetes totalmente humedecidos, [Fonte – Autor]

4.5. Caracterização física

4.5.1 Massa volúmica aparente

Objetivo, enquadramento normativo e amostras

Este ensaio tem como objetivo determinar a massa volúmica aparente das amostras de taipa recolhidas, com base nas normas DIN 18945 (2013) (para caracterização de blocos de terra) e UNE 41410 (2008) (para caracterização de blocos de terra comprimida), tendo sido utilizados doze provetes, oito de Alcácer do Sal e quatro de Juromenha (Tabela 4.6 e Figura 4.8 (a)).

Tabela 4.6 – Amostras utilizadas da determinação da massa volúmica aparente das taipas

Ensaio	Massa Volúmica Aparente											
Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal								Fortaleza de Juromenha			
	A/I/1.1	A/I/1.2	A/I/1.3	A/I/1.4	A/I/3.1	A/I/3.2	A/I/3.3	A/I/3.4	J/C/1.2	J/C/2.1	J/I/1.1	J/I/1.2

Equipamentos e materiais utilizados

- Estufa ventilada;
- Craveira;
- Balança digital com precisão de 0,1 g;

Procedimento experimental

O ensaio seguiu os seguintes passos:

- Foram cortados provetes paralelepípedicos de blocos de taipa de maiores dimensões;
- Os provetes foram colocados em estufa ventilada (temperatura de 60 °C durante 48 h);
- Registou-se a massa seca dos provetes, após estes se encontrarem secos e arrefecidos, utilizando-se a balança digital (Figura 4.15 (b));
- Registaram-se as 3 dimensões ortogonais de cada provete, designadas de “L” (comprimento do provete), “a” (largura da base) e “b” (altura), com recurso a uma craveira (Figura 4.15 (a)). Assim, obteve-se o volume de cada provete. Para cada dimensão (L, a e b), foram feitas quatro medições por provete.

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

A massa volúmica aparente, MVA, resulta do quociente entre a massa de cada provete (m) e o seu volume (V) e é dada por,

$$MVA = \frac{m}{V} \quad (4.3)$$



(a)



(b)

Figura 4.15 – (a) Craveira para medição dos provetes; (b) Pesagem de um provete, [Fonte – Autor]

4.6. Caracterização mecânica

4.6.1. Velocidade de propagação de ultrassons

Objetivo, enquadramento normativo e amostras

Este ensaio tem como objetivo a determinação da velocidade de propagação das ondas longitudinais ultrassónicas, aplicada aos provetes de taipa em estudo, com base na norma NP EN 12504-4 (2007) (para caracterização de betão). Para tal, foram utilizados doze provetes, oito de Alcácer do Sal e cinco de Juromenha (Tabela 4.7 e Figura 4.16 (a)). Este ensaio permite avaliar a homogeneidade e detetar descontinuidades da taipa.

Equipamentos e materiais utilizados

- Aparelho de ultrassons (Figura 4.16 (b));
- Craveira;
- Pasta dentífrica.

Procedimento experimental

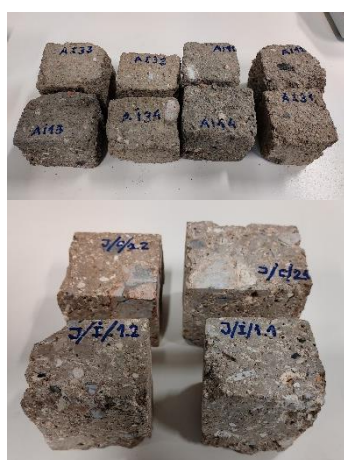
O ensaio seguiu os passos descritos em seguida:

- Procedeu-se à calibração do equipamento;
- Mediu-se a dimensão do provete que seria atravessado pelos ultrassons;
- Aplicou-se pasta dentífrica nas superfícies de contacto transdutores-provetes, no sentido de promover uma melhor ligação entre elas;

- Posicionou-se o emissor num ponto fixo, de um dos lados do provete e o recetor, no mesmo alinhamento, do lado oposto (Figura 4.16 (c)). Em cada ponto efetuou-se a medições do tempo de propagação das ondas. O processo repetiu-se sempre que necessário;
- Procedeu-se ao registo do tempo que as ondas ultrassónicas demoram a percorrer cada provete em três dimensões no mesmo ponto.

Tabela 4.7 – Amostras utilizadas da determinação a velocidade de propagação de ultrassons das taipas

Ensaio	Velocidade de propagação de ultrassons												
Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal							Fortaleza de Juromenha					
	A/I/1.1	A/I/1.2	A/I/1.3	A/I/1.4	A/I/3.1	A/I/3.2	A/I/3.3	A/I/3.4	J/I/1.1	J/I/1.2	J/C/1.1	J/C/1.2	J/C/2.1



(a)



(b)



(c)

Figura 4.16 – (a) Provete utilizados no ensaio; (b) Aparelho de ultrassons; (c) Medição dos ultrassons no provete, [Fonte – Autor]

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

A velocidade de propagação das ondas ultrassónicas (v) é determinada no método de transmissão direta para cada leitura, pelo quociente entre a distância entre emissor e recetor (d) e o tempo de propagação da onda (t), valor fornecido pelo aparelho de ultrassons,

$$v = \frac{d}{t} \quad (4.4)$$

4.6.2. Resistência à compressão

Objetivo, enquadramento normativo e amostras

O ensaio de determinação da resistência à compressão foi realizado com base nas indicações presentes na EN 1015-11 (1999) (para caracterização de argamassas), tendo sido utilizada a

máquina de ensaio MATEST CE403, ilustrada na Figura 4.10 (a). Foram utilizadas sete amostras, (quatro de Alcácer do Sal e três de Juromenha) (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Amostras utilizadas para determinação da resistência à compressão das taipas estudadas

Ensaio	Resistência mecânica à compressão						
Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal				Fortaleza de Juromenha		
	A/I/1.1	A/I/1.3	A/I/1.4	A/I/3.3	J/C/1.1	J/C/1.2	J/C/2.1

Equipamentos e materiais utilizados

- Gesso em pó e água;
- Craveira;
- Máquina de ensaios.

Procedimento experimental

O ensaio regeu-se pelos seguintes passos:

- Determinou-se (a meia altura de cada provete cúbico/paralelepípedo) a área em planta dos provetes;
- Por forma a criar bases planas nas faces dos provetes em contacto com os pratos da máquina de ensaios (Figura 4.17 (a)) aplicou-se uma fina camada de gesso misturado com água (Figura 4.17 (b));
- Cada provete cúbico (os mesmos utilizados na determinação da massa volúmica aparente) foi colocado em contacto com o prato inferior da máquina de ensaios (Figura 4.17 (c)). Por aumento da pressão do óleo na máquina de testes, o prato inferior subiu e o provete entrou em contacto também com o prato superior da máquina, ficando sujeito a um carregamento de compressão;
- Registou-se a força máxima indicada pela máquina e verificou-se se a rotura era satisfatória.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.17 – (a) Máquina de ensaio; (b) Provete para ensaio (após ensaio); (c) Ensaio à compressão com provete, [Fonte – Autor]

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

A resistência à compressão dos provetes de taipa (f_c) é determinada pelo rácio entre a força máxima obtida durante o ensaio (F) e a área em planta do provete (A) determinada a meia altura do provete,

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (4.5)$$

4.7. Análise granulométrica

Objetivo, enquadramento normativo e amostras

Este ensaio tem como objetivo identificar, por percentagem, os diferentes constituintes dos agregados, sendo possível compreender a influência que as dimensões dos agregados têm no comportamento do material em análise. Foi realizado com base na especificação LNEC E 239 (1970) (para caracterização de solos), tendo sido utilizados seis amostras (três de Alcácer do Sal e três de Juromenha), conforme apresentado na Tabela 4.9.

Importa referir que as amostras não foram preparadas de acordo com a LNEC E 195, ou seja, não se considerou a massa da amostra mínima necessária tendo em consideração a máxima dimensão do agregado. Tal deveu-se à quantidade limitada de taipa existente para caracterização. Refere-se também que neste estudo, não foi possível determinar a percentagem de argila em cada taipa e, por conseguinte, também não foi possível determinar as curvas granulométricas correspondentes a esta fracção.

Tabela 4.9 – Amostras utilizadas na análise granulométrica das taipas

Ensaio	Granulometria					
Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal			Fortaleza de Juromenha		
	A/I/1	A/I/2	A/I/3	J/C/1	J/C/2	J/I/1

Equipamentos e materiais utilizados

- Estufa ventilada;
- Maceta;
- Almofariz e pilão (de borracha);
- Taças;
- Peneiros da série ASTM-C25-98;
- Agitador de peneiros;
- Balança digital com precisão de 0,1 g;
- Copo graduado;

- Agente desfloculante (hexametáfosfato de sódio);
- Água destilada;
- Vareta de vidro.

4.7.1. Análise granulométrica e caracterização visual da fração grossa

Procedimento experimental

Para a análise granulométrica da fração grossa (dimensões superiores a 2 mm) da taipa, percorreram-se os seguintes passos:

- As amostras foram inicialmente colocadas em estufa ventilada (60°C durante 48 horas);
- Após seco e arrefecido, o material foi inicialmente desagregado com a ajuda de uma maceta (Figura 4.18 (a) e (b)) e em seguida desfeito com almofariz e pilão de borracha (Figura 4.18 (c)). Posteriormente registou-se a massa da amostra a considerar (Figura 4.18 (c));
- Procedeu-se à montagem da bateria de peneiros da série ASTM-C25-98 verticalmente, de modo que a abertura da malha diminuísse de cima para baixo, utilizando-se uma série de peneiros de dimensão decrescente e normalizada. Colocou-se a amostra previamente pesada (Figura 4.19 (a)), no topo da torre de peneiros;
- Por ação da gravidade e do agitador de peneiros, o material foi passando nos sucessivos peneiros, ficando retidas as partículas no peneiro imediatamente abaixo da sua dimensão (Figura 4.19 (b) e (c)). Após este processo, registaram-se as massas retidas em cada um dos peneiros (Figura 4.20 (a), (b) e (c)). A série de peneiros (ASTM) possui as dimensões das malhas (quadradas) apresentadas na Tabela 4.10;
- Procedeu-se também a uma caracterização petrográfica (visual) do material retido em cada peneiro (Figura 4.21 (a)).

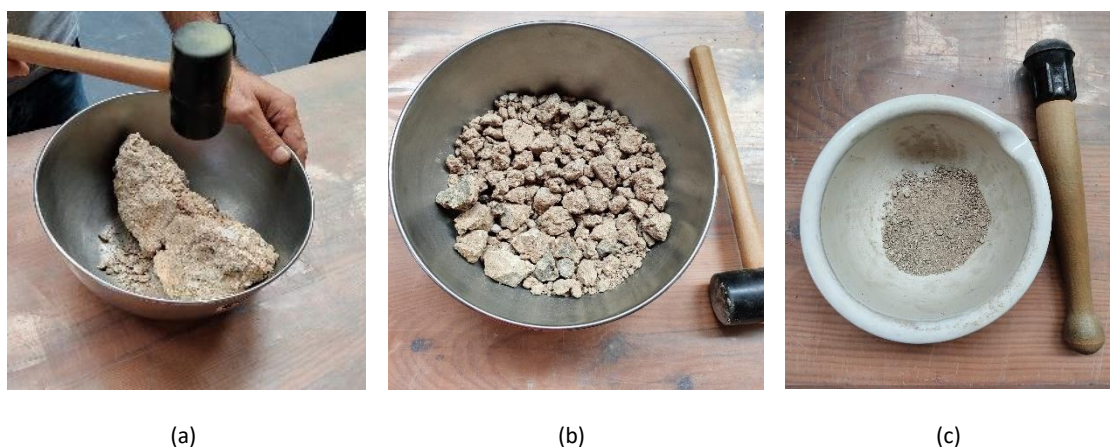


Figura 4.18 – (a) Material recolhido a ser desfeito; (b) Porção de material recolhido já desfeito; (c) Material desfeito com almofariz e pilão de borracha, [Fonte – Autor]



(a)



(b)



(c)

Figura 4.19 – (a) Pesagem do material; (b) Colocação do material nos peneiros; (c) Agitador com bateria de peneiros, [Fonte – Autor]



(a)



(b)



(c)

Figura 4.20 – Peneiros a serem pesados; (a) Peneiro 1" – Fração maior; (b) Peneiro n.º 10 – Fração média; (c) Peneiro n.º 140 – pó, [Fonte – Autor]

Tabela 4.10 – Relação peneiros (ASTM)/ Malhas (mm) - grossos

Peneiros	2"	1"	3/4"	3/8"	4	10
Abertura (mm)	50	25	19	9,5	4,75	2

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

O cálculo do agregado retido por peneiro, é realizado a partir da seguinte expressão,

$$\text{Agregado retido} = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (\%) \quad (4.6)$$

onde m_1 é a massa do agregado retido num peneiro e m_2 é a massa inicial da amostra.

A Figura 4.21 (b) apresenta, a título exemplificativo, uma curva granulométrica dos agregados grossos utilizados na taipa militar.

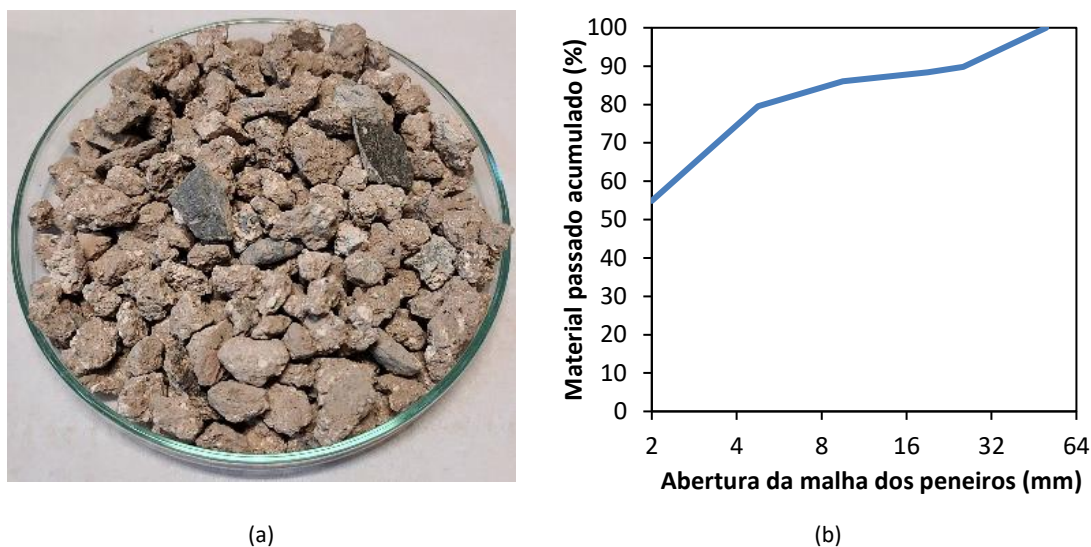


Figura 4.21 – (a) Exemplo de agregados grosso obtidos; (b) exemplo de curva granulométrica de agregados grossos da taipa, [Fonte – Autor]

4.7.2. Análise granulométrica e caracterização visual da fração fina

Procedimento experimental

Para a caracterização granulométrica da fração fina de taipa militar adotou-se o seguinte procedimento, relativo à caracterização da fração fina:

- Procedeu-se à desfloculação do material passante no peneiro #10 (2 mm). Para tal, colocou-se a amostra (com cerca de 50g) num copo de vidro graduado, ao qual se adicionou 250 ml de água destilada e 0,5 g de hexametáfosfato de sódio comercial. Deixou-se a mistura repousar 1 hora, agitando-se pontualmente com vareta de vidro (Figura 4.22 (a));
- Realizou-se posteriormente lavagem da amostra com jato de água (Figura 4.22 (b)) sob o peneiro #200 e de seguida colocou-se a amostra numa estufa ventilada (temperatura de 110 °C) (Figura 4.22 (c)) até se obter massa constante;
- Após a amostra se encontrar seca e arrefecida, procedeu-se à sua peneiração tendo sido, neste caso, apenas utilizados os peneiros apresentados na Tabela 4.11;
- Além da obtenção da curva granulométrica, procedeu-se também neste caso a uma caracterização petrográfica (visual) do material retido em cada peneiro (Figura 4.23).

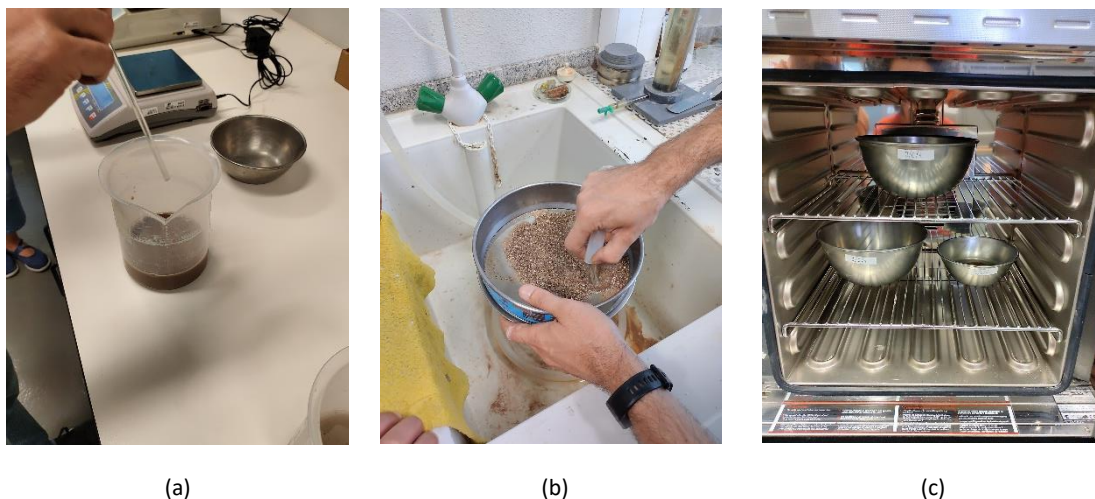


Figura 4.22 – (a) Desfloculação – agitando a mistura de massa “fina”, hexametáfosfato de sódio comercial e água destilada; (b) Lavagem da massa “finos” a jato de água; (c) Material “finos” na estufa, [Fonte – Autor]

Tabela 4.11 – Relação Peneiros (ASTM)/ Malhas (mm) - finos

Peneiros	20	40	60	140	200
Abertura (mm)	0,85	0,425	0,250	0,106	0,075



Figura 4.23 – Exemplo de agregados finos de taipa militar obtidos após desfloculação e peneiração, [Fonte – Autor]

Modo de obtenção e de apresentação dos resultados

O cálculo do agregado retido por peneiro, necessário para obter a curva granulométrica, é realizado de acordo com a expressão 4.6, apresentada a propósito da peneiração dos grossos.

5. Resultados e discussão

5.1. Introdução

O presente capítulo tem como objetivo a apresentação e discussão dos resultados obtidos com os ensaios realizados em laboratório, descritos no capítulo 4. A sequência dos resultados apresentados é a mesma da dos ensaios realizados. Assim, apresenta-se inicialmente a caracterização colorimétrica das taipas, seguida da sua caracterização hídrica, física e mecânica e, por fim, apresenta-se a caracterização granulométrica e petrográfica.

5.2. Caracterização colorimétrica

Os valores obtidos no ensaio de caracterização colorimétrica, encontram-se apresentados nas Tabelas 5.1 e 5.2, nas quais é possível observar o valor médio e o desvio padrão (σ) das coordenadas L^* , a^* , b^* e de C^* . A Figura 5.1 representa graficamente os valores apresentados nas referidas tabelas, permitindo comparar as taipas de Alcácer e Juromenha no que diz respeito à sua cor.

Tabela 5.1 – Caracterização colorimétrica das amostras de taipa da fortaleza de Alcácer do Sal

Amostras	L^*		a^*		b^*		C^*	
	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ
A/I/2.1	58,63	1,85	2,60	0,28	11,22	0,57	11,52	0,21
A/I/3.7	56,39	1,25	4,28	0,11	14,44	0,42	15,06	0,22
A/I/6	51,59	0,65	2,73	0,41	11,08	0,13	11,41	0,20

A Tabela 5.1, relativa à fortaleza de Alcácer do Sal, permite verificar que o parâmetro L^* apresenta, no geral, valores que se podem entender como médios (dado que este parâmetro varia entre 0 – preto e 100 – branco). No que diz respeito à coordenada a^* , esta apresenta valores reduzidos, indicando grande proximidade à tonalidade encarnada. A coordenada b^* apresenta valores mais elevados do que os anteriores, o que na escala do CIELAB, indica uma tonalidade amarela. Desta forma, é possível afirmar que as coordenadas a^* e b^* localizam a tonalidade das amostras da fortaleza de Alcácer no espaço de cor expectável para uma taipa: entre o encarnado e o amarelo.

Tabela 5.2 – Caracterização colorimétrica das amostras de taipa da fortaleza de Juromenha

Amostras	L*		a*		b*		C*	
	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ	V. Médio	σ
J/C/1.3	62,94	1,21	5,24	0,27	14,82	0,78	15,71	0,36
J/C/1.7	64,28	0,50	5,25	0,33	14,61	0,36	15,52	0,02
J/C/2.1	66,39	1,85	4,69	0,22	13,85	0,38	14,62	0,11

Relativamente à fortaleza de Juromenha, a Tabela 5.2 permite concluir que o parâmetro L* indica uma luminosidade que pode ser considerada média a elevada. A coordenada a* apresenta valores reduzidos, indicando grande proximidade à tonalidade encarnada e a coordenada b* indica, também para esta taipa, valores mais elevados que os anteriores, o que na escala do CIELAB, indica uma tonalidade amarela. Assim, também para esta taipa, as coordenadas a* e b* localizam a tonalidade das amostras da fortaleza de Juromenha entre o encarnado e o amarelo.

A observação dos gráficos apresentados na Figura 5.1 permite ainda concluir que as amostras de Alcácer apresentam uma maior dispersão nos valores de C* e L* do que as de Juromenha, que se apresentam mais semelhantes entre si. Relativamente à comparação entre as taipas das duas fortalezas é possível perceber que, no geral, apresentam, valores de croma e luminosidade relativamente próximos; de facto, trata-se de materiais que são, no geral, semelhantes. No entanto, comparativamente às amostras de Alcácer, as de Juromenha, apresentam valores de croma e de luminosidade um pouco mais elevados. Tal significa que a taipa de Juromenha apresenta uma tonalidade mais “quente” e mais clara que a taipa de Alcácer. Em suma, e considerando a conjugação dos valores de C* e L*, as amostras de Alcácer do Sal remetem para tonalidades cinzentas, enquanto as de Juromenha remetem para tonalidades castanhas, conforme observado também na Figura 5.2.

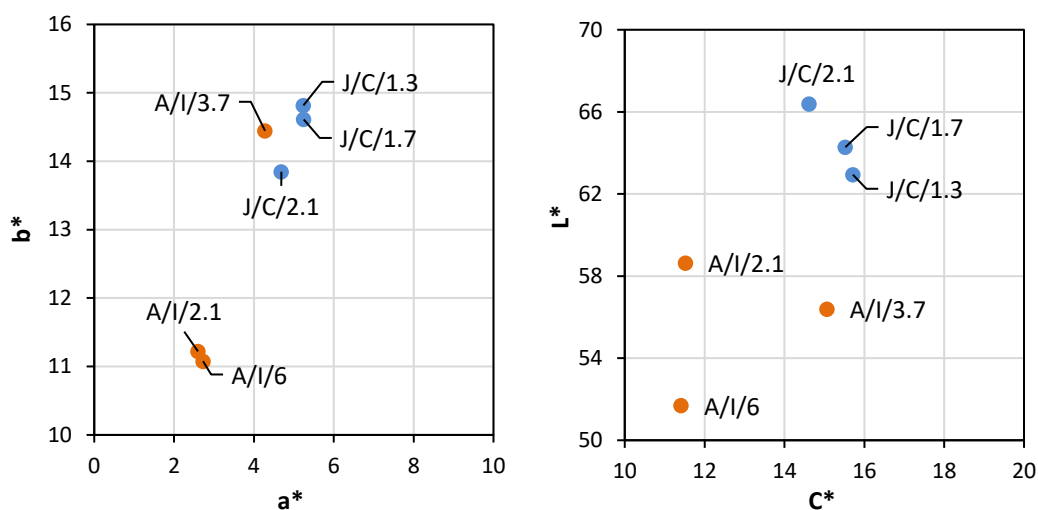


Figura 5.1 - Gráficos com as coordenadas a^* e b^* e L^* e C^* das taipas de Alcácer e de Juromenha, [Fonte – Autor]



Figura 5.2 - Provetes de taipa militar (a) de Alcácer A/I/2.1 e (b) de Juromenha J/C/2.1 [Fonte – Autor]

5.3. Caracterização hídrica

5.3.1. Absorção de água por capilaridade

A Figura 5.3 apresenta as curvas de absorção de água por capilaridade (variação de massa por unidade de área em função da raiz quadrada do tempo), respetivamente das amostras de taipa militar de Alcácer (A/I/1.6, A/I/2.1, A/I/3.6, A/I/3.7), e de Juromenha (J/C/1.3, J/C/1.4, J/C/2.2, J/I/1.3, J/I/1.5). Como se pode observar, as curvas apresentam o comportamento esperado, já que estas são compostas por um troço inicial aproximadamente linear seguido de um segundo troço no qual a quantidade de água absorvida tende para um valor assintótico. Dado que as amostras apresentavam alturas distintas (conforme ilustrado nas Figuras 5.4 e 5.5), este valor não pode ser utilizado para caracterização e comparação da capacidade de absorção de água

das diversas amostras. Não obstante, verifica-se uma coêrencia entre os valores assintóticos de absorção de água e a altura das amostras, no sentido em que as com maior altura absorvem uma maior quantidade de água: o valor assintótico da amostra J/I/1.3 (mais alta – Figura 5.4) é de cerca de 12 kg/m², sendo superior ao da amostra J/I/1.5 (de menor altura – Figura 5.4) que apresenta um valor de cerca de 9 kg/m². Relativamente à taipa militar de Juromenha, não é possível constatar uma diferença óbvia entre o comportamento da taipa da era cristã face à da era islâmica. As duas amostras da era anterior apresentam as curvas com maior e menor inclinação do troço inicial (coeficiente capilar, discutido com mais detalhe de seguida).

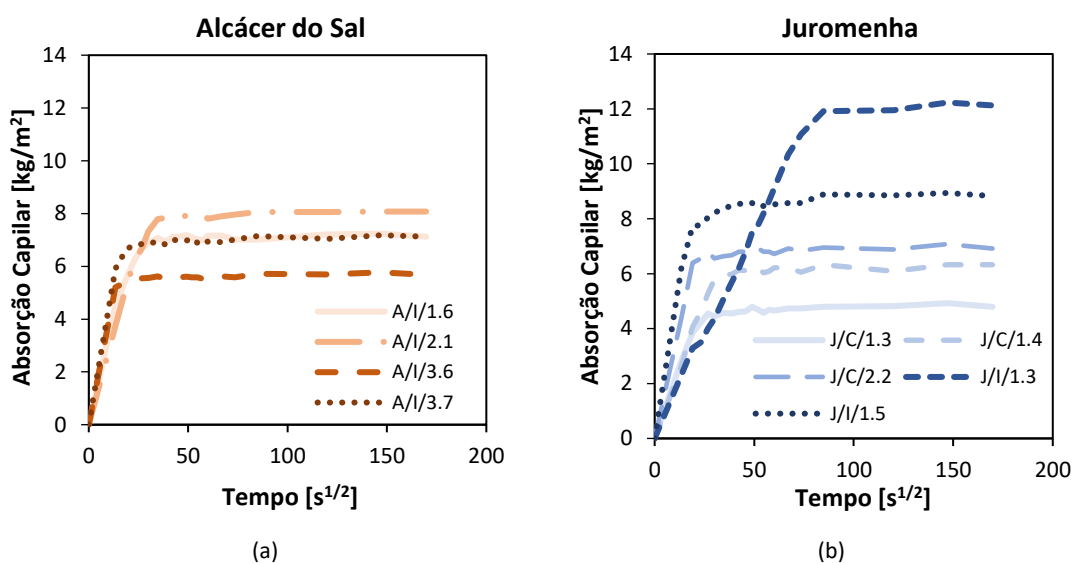


Figura 5.3 - Curvas de absorção de água por capilaridade das taipas das fortalezas (a) de Alcácer do Sal e (b) de Juromenha [Fonte – Autor]

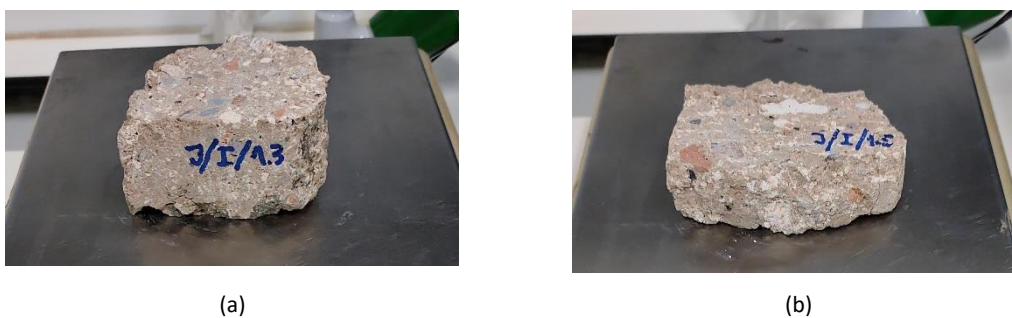
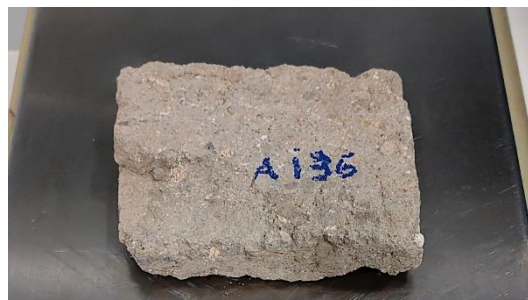


Figura 5.4 - Provete da taipa de Juromenha com diferentes alturas: (a) J/I/1.3 e (b) J/I/1.5 [Fonte – Autor]



A/I/2.1



A/I/3.6

Figura 5.5 - Provetes da taipa de Alcácer do Sal, [Fonte – Autor]

Avaliou-se então os coeficientes de capilaridade (C.C.) das várias amostras de taipa fazendo-se passar uma regressão linear pelo troço inicial das curvas de absorção capilar, conforme ilustrado na Figura 5.6 para dois casos (um de Alcácer e outro de Juromenha). Na Tabela 5.3 apresentam-se os coeficientes de capilaridade obtidos para cada amostra de taipa militar.

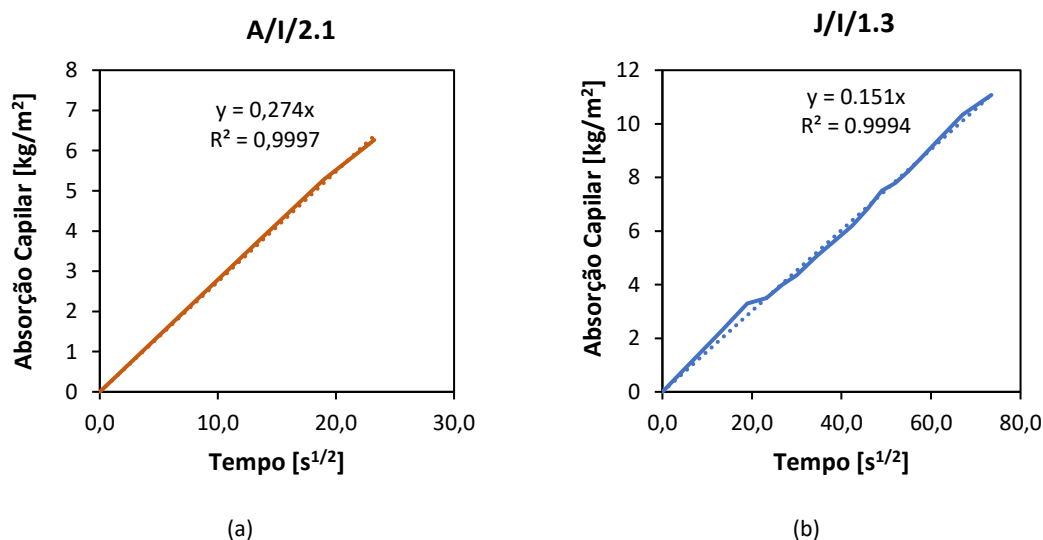


Figura 5.6 – Exemplificação da obtenção dos coeficientes capilares da taipa militar das fortalezas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha, [Fonte – Autor]

A Tabela 5.3 permite observar que as amostras de taipa militar da fortaleza de Alcácer apresentam C.C. com pouca dispersão ($\sigma = 0,06 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$) sendo que a amostra da torre octogonal (A/I/2.1) apresenta o menor valor e as amostras da muralha norte – zona 3 (Figura 4.1) apresentam os maiores valores.

Tabela 5.3 – Coeficientes de capilaridade das taipas militares estudadas

Amostra	C.C. [kg/(m ² .s ^{1/2})]	Amostra	C.C. [kg/(m ² .s ^{1/2})]
A/I/1.6	0,31	J/C/1.3	0,21
A/I/2.1	0,27	J/C/1.4	0,20
A/I/3.6	0,39	J/C/2.2	0,33
A/I/3.7	0,38	J/I/1.3	0,15
		J/I/1.5	0,43
Valor médio	0,34	Valor médio	0,26

No que diz respeito à fortaleza de Juromenha, a dispersão dos valores do C.C. é superior ($\sigma = 0,11 \text{ kg}/(\text{m}^2.\text{s}^{1/2})$) mas é necessário ter em conta que se está perante taipas de duas épocas distintas. A taipa da era islâmica apresenta um valor médio de C.C. semelhante à taipa da mesma época da fortaleza de Alcácer (apesar de apresentar uma dispersão de valores consideráveis). A taipa da era cristã da fortaleza de Juromenha apresenta valores de C.C., em média, inferiores aos restantes. No geral e apesar da dispersão, as taipas da fortaleza de Juromenha parecem apresentar C.C. inferiores aos das taipas da fortaleza de Alcácer.

Comparando os valores obtidos para ambas as fortalezas, é possível concluir que a taipa de Juromenha tem um comportamento mais satisfatório o que se pode dever à existência de uma maior percentagem de ligante (cal) e de agregados de maior dimensão (percetível de acordo com a análise visual, discutida adiante).

Procurou-se também fazer uma comparação entre os valores de C.C. obtidos para as taipas estudadas e os obtidos por outros autores. De acordo com Coradinho (2018) (utilizando a norma EN 15801 (2009)), no seu estudo sobre a fortaleza de Paderne, também de taipa militar islâmica, do período almóada, apresenta valores de C.C.² (0.19 a 0.33 $\text{kg}/(\text{m}^2.\text{s}^{1/2})$) da mesma ordem de grandeza aos obtidos neste trabalho.

Comparando os resultados obtidos com aqueles obtidos para taipa civil de construção mais recente, estudada por Ferreira (2017) (utilizando a FE Pa 40 (LNEC, 2016) e normas DIN 18945 (DIN, 2013) e UNE 41410 (2008)), (taipa civil na região de Leiria) é possível observar valores de C.C. mais reduzidos do que os obtidos neste estudo. Este autor obteve valores de C.C. de 0.10 a 0.14 $\text{kg}/(\text{m}^2.\text{s}^{1/2})$.

² Coradinho (2018) e Ferreira (2017) (referido de seguida) apresentam, nos respetivos documentos, os valores de C.C. em $\text{kg}/(\text{m}^2.\text{min}^{1/2})$.

5.4. Caracterização física

5.4.1. Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente, MVA, das amostras recolhidas nas duas fortalezas, Alcácer do Sal e Juromenha, foi obtida de acordo com a DIN 18945 (2013) e a UNE 41410 (2008), e cujos resultados se apresentam na Figura 5.7.

No gráfico apresentado na Figura 5.7 (a), pode observar-se que massa volúmica aparente, MVA, das amostras A/I/3.# é, em média (1807 kg/m^3), ligeiramente superior ao valor médio das MVA das amostras A/I/1.# (1614 kg/m^3).

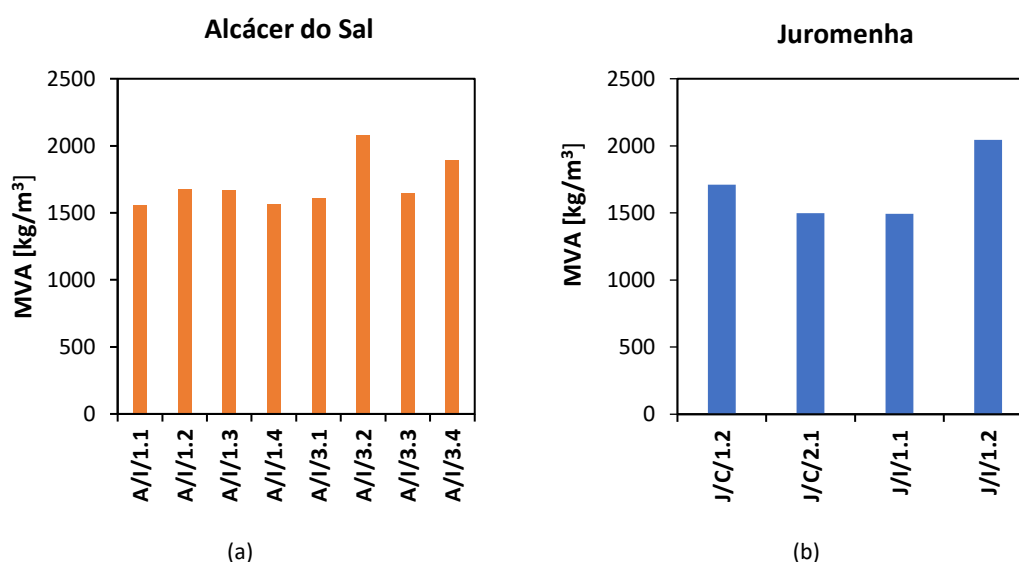


Figura 5.7 – Massas volúmicas aparentes das taipas das fortalezas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha, [Fonte – Autor]

Comparando as MVA das duas fortalezas, é possível constatar que a taipa militar de Juromenha apresenta um valor médio de MVA (1687 kg/m^3) um pouco inferior ao valor médio da MVA de Alcácer do Sal (1710 kg/m^3), não sendo a diferença entre ambas significativa.

As Tabelas 5.4 e 5.5 apresentam os valores das MVA de cada provete caracterizado, bem como alguns dos valores médios aos quais se fez referência anteriormente.

Tabela 5.4 – Massa volúmica das amostras de taipa de Alcácer do Sal

Amostras	Fortaleza de Alcácer do Sal							
	A/I/1.1	A/I/1.2	A/I/1.3	A/I/1.4	A/I/3.1	A/I/3.2	A/I/3.3	A/I/3.4
Massa Volúmica [kg/m ³]	1553	1675	1669	1559	1611	2079	1643	1894

Média Massa Volúmica [kg/m ³]	1710
---	------

Média Massa Volúmica A/I/1 [kg/m ³]	1614
---	------

Média Massa Volúmica A/I/3 [kg/m ³]	1806
---	------

Tabela 5.5 – Massa volúmica das amostras de taipa de Juromenha

Amostras	Fortaleza de Juromenha			
	J/C/1.2	J/C/2.1	J/I/1.1	J/I/1.2
Massa Volúmica [kg/m ³]	1711	1499	1493	2045
Média Massa Volúmica [kg/m ³]	1687			
Média Massa Volúmica J/I [kg/m ³]	1769			
Média Massa Volúmica J/C [kg/m ³]	1605			

5.5. Caracterização mecânica

5.5.1. Velocidade de propagação de ultrassons

Como referido no capítulo 4, a determinação da velocidade de ultrassons foi feita nos mesmos provetes utilizados na determinação da MVA (resultados apresentados anteriormente) e da resistência à compressão (resultados apresentados adiante). Os provetes foram obtidos a partir do corte de amostras irregulares e de grandes dimensões de taipa das respetivas fortalezas.

As Tabelas 5.6 e 5.7 apresentam as velocidades de propagação de ultrassons obtidas em cada provete de cada fortaleza. A Figura 5.8 apresenta os resultados sob a forma de gráfico, permitindo uma mais fácil comparação dos valores obtidos para as duas fortalezas e, dentro de cada fortaleza, por zona ou época construtiva.

Tabela 5.6 – Valores médios da velocidade de propagação de ultrassons das amostras de taipa da fortaleza de Alcácer

Amostras	Valor médio (m/s)	Desvio Padrão
A/I/1.1	541	0
A/I/1.2	556	2
A/I/1.3	689	4
A/I/1.4	528	79
A/I/3.1	630	0
A/I/3.2	571	0
A/I/3.3	479	0
A/I/3.4	448	1

Tabela 5.7 – Valores médios da velocidade de propagação de ultrassons das amostras de taipa da fortaleza de Juromenha

Amostras	Valor médio (m/s)	Desvio Padrão
J/I/1.1	535	1
J/I/1.2	577	91
J/C/1.1	938	22
J/C/1.2	896	11
J/C/2.1	795	52

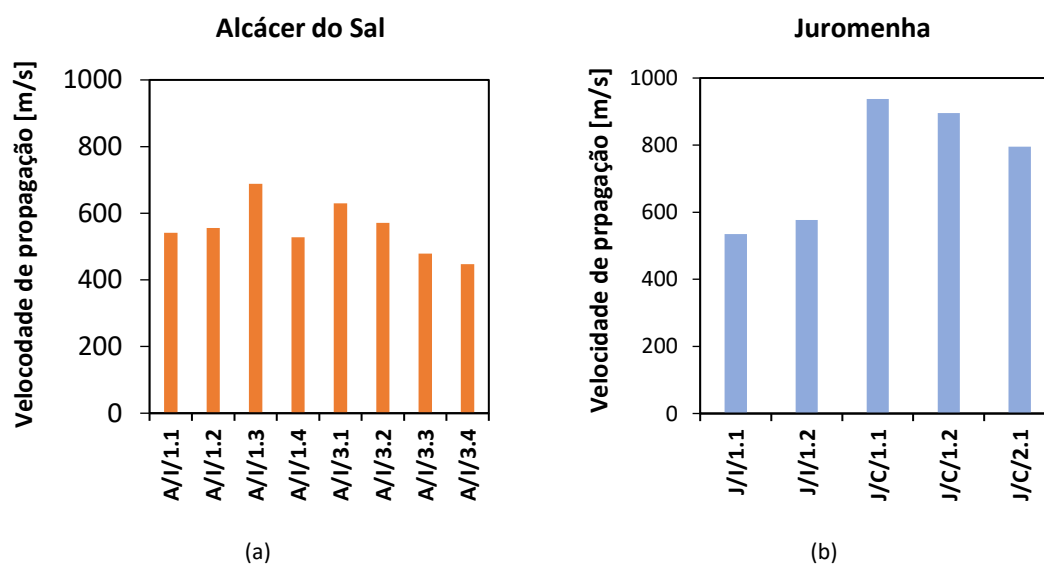


Figura 5.8 – Velocidades de propagação ultrassons das amostras de taipa das fortalezas (a) de Alcácer e (b) Juromenha, [Fonte – Autor]

Para a fortaleza de Alcácer, os resultados, calculados através da média dos 3 valores registados em cada uma das superfícies testadas, revelam que os provetes do tipo A/I/1, apresentam maior velocidade de propagação, que os do tipo A/I/3 (579 m/s vs. 532 m/s).

Relativamente à fortaleza de Juromenha, é possível observar que os provetes da era Cristã apresentam valores médios de velocidades de propagação de ultrassons bastante superiores aos provetes da era Islâmica (876 m/s vs. 556 m/s).

Comparando os resultados obtidos em ambas as fortalezas, é possível concluir que a taipa militar de Juromenha, apresenta uma estrutura mais compacta, pois foi obtido um valor médio de velocidade de propagação de ultrassons superior (748 m/s) ao apresentado pela taipa de Alcácer (555 m/s). Parece verificar-se assim uma boa correlação entre os C.C. das taipas e as velocidades de propagação de ultrassons. De facto, a taipa da fortaleza de Juromenha apresenta menor velocidade de absorção de água do que a taipa de Alcácer, o que pode ser justificado por uma menor porosidade (maior compacidade) da primeira.

5.5.2. Resistência à compressão

Nos gráficos apresentados na Figura 5.9, é possível observar os resultados da resistência à compressão dos provetes de taipa militar das fortalezas de Alcácer e Juromenha.

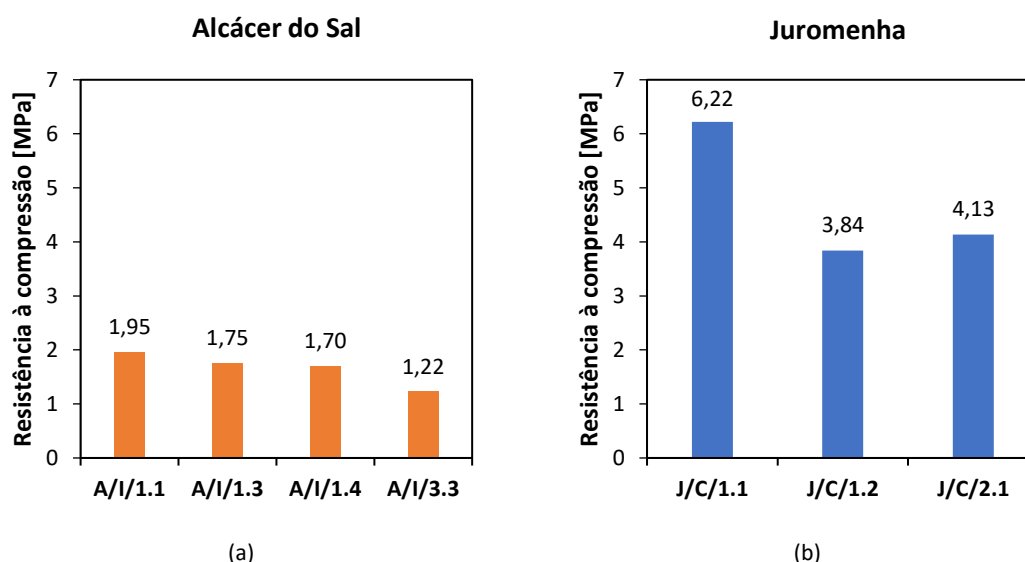


Figura 5.9 – Resistência à compressão das taipas das fortalezas (a) de Alcácer e (b) Juromenha, [Fonte – Autor]

Relativamente à fortaleza de Alcácer, é possível verificar que os provetes do tipo A/I/1 parecem possuir maior resistência mecânica do que os provetes A/I/3 (apesar de se estar a comparar a média de três valores com apenas um). Já as amostras retiradas da fortaleza de Juromenha apresentam uma elevada variabilidade.

Verifica-se uma diferença significativa entre as resistências à compressão dos provetes de Alcácer e de Juromenha: o valor médio obtido para a taipa de Juromenha é quase três vezes superior ao obtido para a taipa de Alcácer. Por um lado, a diferença poderá dever-se a uma maior compacidade da taipa da fortaleza de Juromenha. De facto, foi possível observar uma boa correlação ($R^2 = 0,81$) entre as resistências à compressão das taipas e a velocidade de propagação de ultrassons, conforme apresentado na Figura 5.10, verificando-se que quanto maior a velocidade de propagação de ultrassons maior a resistência à compressão. Por outro lado, também a quantidade superior de ligante (análise visual abordada adiante) da taipa de Juromenha será um fator decisivo para os resultados obtidos.

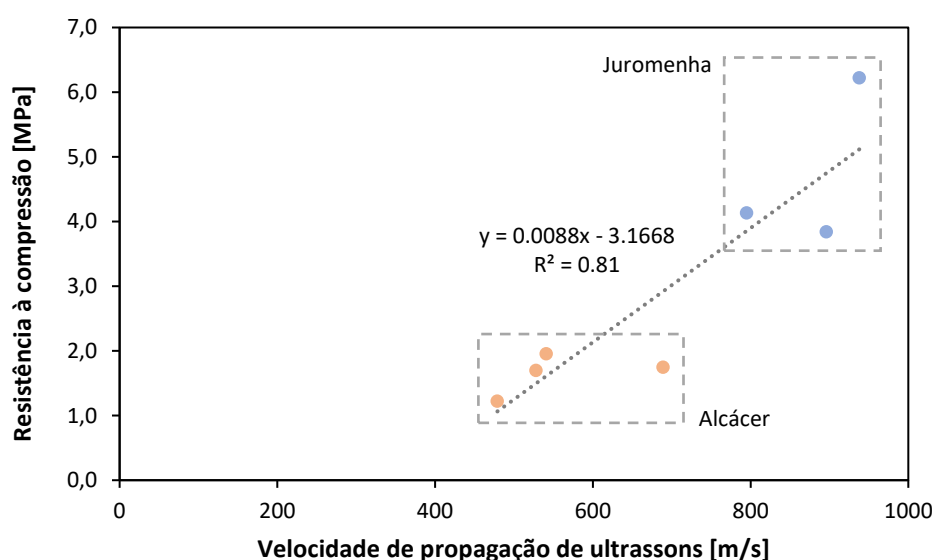


Figura 5.10 – Gráfico da correlação dos ultrassons com a resistência à compressão das amostras de taipa das fortalezas de Alcácer e Juromenha, [Fonte – Autor]

A Figura 5.11 ilustra o modo de rotura de dois provetes de taipa de Alcácer ensaiados à compressão. Como se pode observar, o modo de rotura foi o esperado, com o desenvolvimento de fendilhação (vertical) paralela à força aplicada.



A/I/1.1



A/I/3.3

Figura 5.11 – Modo de rotura à compressão dos provetes da taipa de Alcácer do Sal, [Fonte – Autor]

Relativamente a outros estudos, Chagas (1995) obteve resistências à compressão semelhantes, mas ligeiramente superiores (cerca de 2,2 MPa), para a taipa da muralha almóada da fortaleza de Alcácer. Relativamente à taipa civil (da região de Leiria) caracterizada por Ferreira (2017), os valores médios da resistência à compressão situam-se entre os 0,44 e 0,74 MPa. É possível perceber que, provavelmente devido à não utilização da cal como ligante, a taipa civil apresenta resistências à compressão inferiores à taipa militar. Ferreira (2017) também observou uma boa correlação entre a resistência à compressão e a velocidade de ultrassons das taipas estudadas.

5.6. Análise granulométrica

5.6.1. Fração grossa

Nos gráficos da Figura 5.12 apresentam-se as curvas granulométricas da fração grossa das taipas das fortalezas de Alcácer do Sal e de Juromenha.

As curvas granulométricas da fração grossa da taipa de Alcácer do Sal permitem concluir que as três zonas caracterizadas parecem ser bastante similares no que diz respeito à dimensão dos agregados, embora a A/I/2 possua agregados ligeiramente maiores do que as restantes. Relativamente às curvas granulométricas da fração grossa de Juromenha, pode constatar-se que as mesmas também aparentam ser similares, com exceção da J/C/1, que apresenta agregados de menor granulometria. Através das curvas granulométricas da Figura 5.12 é ainda possível constatar que a taipa de Alcácer apresenta uma quantidade de grossos inferior (15 a 25% da

massa total) à de Juromenha (45 a 55% da massa total). A Figura 5.13 permite corroborar esta observação.

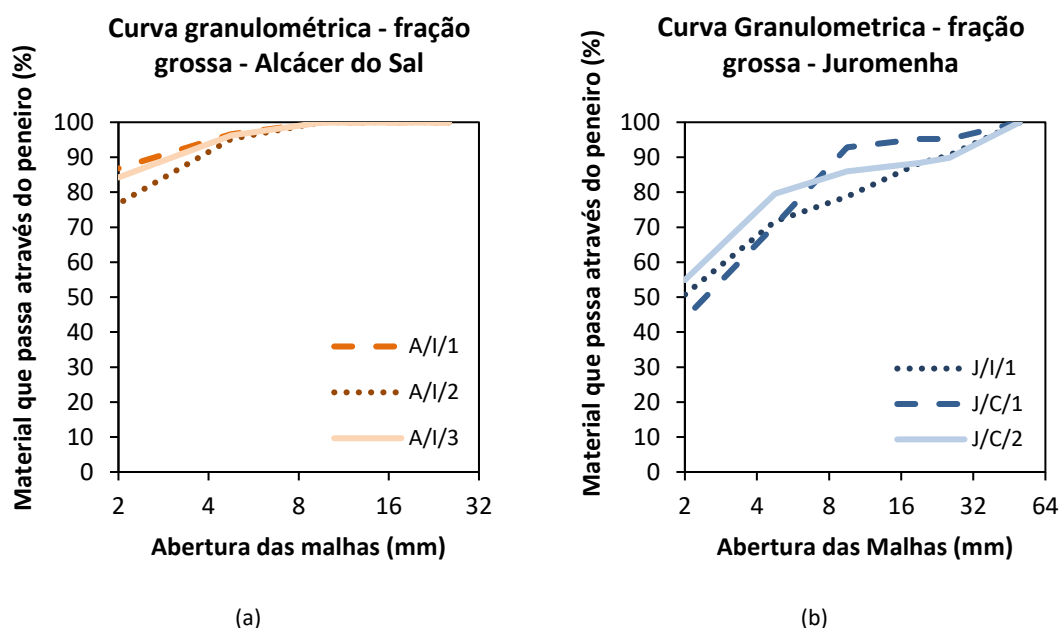


Figura 5.12 – Curvas granulométricas das frações grossas das taipas das muralhas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha [Fonte – Autor]

Na observação visual do material peneirado (grossos) da taipa com origem na fortaleza de Alcácer, verifica-se a existência de conchas, pedra calcária, cerâmicos, quartzo e nódulos de cal (Figura 5.13 (a) e (b)).

Relativamente à fração grossa da taipa da fortaleza de Juromenha, constata-se a existência de carvão, cerâmicos, nódulos de cal carbonatada, xisto mosqueado e seixos (Figuras 5.13 (c) e (d)) e 5.14). Importa referir que, de facto, o material grosso na taipa de Juromenha constitui uma maior parte da taipa pelo que foi necessário recorrer a peneiros de malha de maiores dimensões para proceder à sua caracterização.



(a) peneiro #4 (4,76 mm)



(b) peneiro #10 (2 mm)



(c) peneiro #4 (4,76 mm)



(d) peneiro #10 (2 mm)

Figura 5.13 – Agregados retidos nos peneiros (a) #4 e (b) #10 da taipa de Alcácer do Sal (A/I/3) e nos peneiros (c) #4 e (d) #10 da taipa de Juromenha (J/I/1), [Fonte - Autor]



(a) peneiros 1" (25,4 mm) e 3/4" (19 mm)



(b) peneiro 3/8" (9,51 mm)

Figura 5.14 – Agregados retidos nos peneiros (a) 1" e 3/4" e (b) 3/8" da taipa de Juromenha (J/I/1), [Fonte – Autor]

5.6.2. Fração fina

Nos gráficos da Figura 5.15 apresentam-se as curvas granulométricas da fração fina das taipas das fortalezas de Alcácer do Sal e de Juromenha. Optou-se por considerar as curvas dos finos como sendo uma continuação da curva dos grossos apesar da sua apresentação em separado, que se deve ao facto de os finos terem passado pelo processo de desfloculação, como descrito no capítulo 4. Assim, multiplicou-se as percentagens obtidas em cada peneiro da curva dos finos pela percentagem de material passante no peneiro #10 (2 mm), que separa os finos dos grossos.

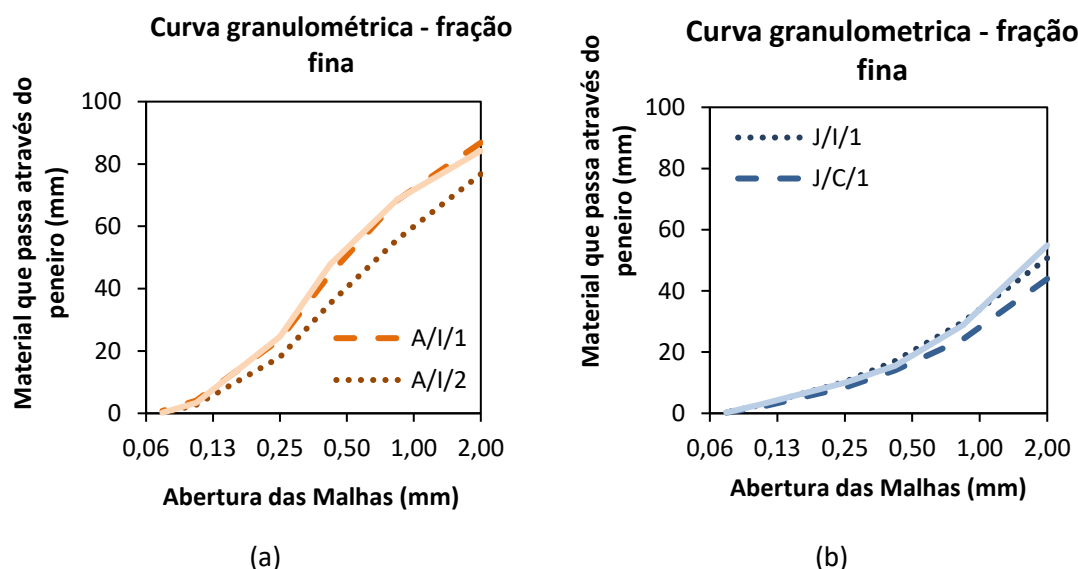


Figura 5.15 – Curvas granulométricas das frações finas das taipas das muralhas de (a) Alcácer do Sal e (b) Juromenha, [Fonte – Autor]

As curvas granulométricas da fração fina da taipa de Alcácer do Sal são, à semelhança do que ocorre para os grossos, também muito semelhantes para as três zonas caracterizadas. A taipa da zona A/I/2 continua a apresentar-se como a que possui agregados de maiores dimensões.

Relativamente às curvas granulométricas da fração fina de Juromenha, apresentam-se mais semelhantes entre si do que o registado para a fração grossa. Neste caso, e ao contrário do que as curvas dos grossos faziam antever, a amostra J/C/1 aparenta ser a que tem partículas de maior dimensão, dentro dos finos. Novamente, as curvas granulométricas dos finos, bem como as Figuras 5.16 e 5.17, permitem verificar que a dimensão dos agregados da taipa de Alcácer é inferior à dos agregados da taipa de Juromenha³. A observação visual do material peneirado (finos), da taipa com origem na fortaleza de Alcácer, apresenta uma tonalidade mais acinzentada por comparação com o de Juromenha (mais acastanhada). Estas colorações já haviam sido observadas e discutidas a propósito do ensaio colorimétrico. O material fino da taipa da fortaleza de Juromenha, além da tonalidade acastanhada apresenta ainda bastantes apontamentos brancos (visíveis com menor frequência na taipa de Alcácer) o que indica uma possível maior percentagem de cal (Figuras 5.17 (a) e(b)).

³ Importa referir que devido à pequena quantidade de material utilizada (menos de 50g) para obter as curvas granulométricas dos finos (depois da desfloculação) se optou por mostrar nas Figuras 5.16 e 5.17 o material fino não desfloculado, utilizando-se assim uma maior quantidade de material para que fosse mais facilmente observável.



(a) peneiro #20 (0,841 mm)



(b) peneiro #40 (0,420 mm)



(c) peneiro #60 (0,250 mm)



(d) peneiro #140 (0,105 mm)



(e) peneiro #200 (0,074 mm)

Figura 5.16 – Material retido nos peneiros (a) #20, (b) #40, (c) #60, (d) #140 e (e) #200 da taipa de Alcácer do Sal (A/I/2), [Fonte – Autor]



(a) peneiro #20 (0,841 mm)



(b) peneiro #40 (0,420 mm)



(c) peneiro #60 (0,250 mm)



(d) peneiro #140 (0,105 mm)



(e) peneiro #200 (0,074 mm)

Figura 5.17 - Material retido nos peneiros (a) #20, (b) #40, (c) #60, (d) #140 e (e) #200 da taipa de Juromenha (J/C/1), [Fonte – Autor]

Chagas (1995) também procedeu a uma caracterização granulométrica da taipa de Alcácer. Apesar de ter utilizado uma série de peneiros distinta da utilizada neste trabalho, também chegou à conclusão que a percentagem de finos era de cerca de 79% da massa total da amostra; este valor encontra-se dentro do intervalo obtido neste trabalho (75 a 85%). Por outro lado,

para a fortaleza de Juromenha, Bruno (2000) (utilizando a série de peneiros da ASTM) chegou também à conclusão de que a quantidade de finos era de aproximadamente 50% da massa total; este valor encontra-se também dentro do intervalo obtido neste trabalho (45 a 55%).

6. Conclusões e propostas de desenvolvimentos futuros

6.1. Conclusões

O estudo realizado e apresentado neste documento teve como objetivo a caracterização de amostras de taipa militar recolhidas das fortalezas de Alcácer do Sal e Juromenha, no Alentejo, Portugal. A escolha das fortificações em causa deveu-se ao seu afastamento geográfico, o que veio possibilitar uma análise comparativa de resultados, que dependem de fatores concretos, como a geologia local ou os agentes atmosféricos. Numa primeira fase as amostras de taipa de ambas as fortalezas foram recolhidas, limpas e devidamente catalogadas. Posteriormente, procedeu-se uma caracterização colorimétrica, hídrica, física e mecânica das amostras. Em seguida apresentam-se as principais conclusões do trabalho:

- 1) A caracterização colorimétrica das taipas permitiu observar que a taipa da fortaleza de Alcácer do Sal apresenta uma coloração mais acinzentada e a de Juromenha uma coloração mais acastanhada. Adicionalmente, a primeira é ligeiramente mais escura do que a segunda, que apresenta maior luminosidade. A maior luminosidade da taipa de Juromenha poderá ser explicada, em parte, por uma possível maior quantidade de cal (qualitativamente verificada após peneiração das taipas);
- 2) O ensaio de absorção de água por capilaridade das taipas permitiu concluir que a taipa de Alcácer do Sal apresenta um coeficiente de capilaridade (valor médio de $0,34 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$) superior à taipa de Juromenha (valor médio de $0,26 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$). Os valores obtidos foram comparados com valores da literatura e foi possível perceber que se encontravam dentro da mesma ordem de grandeza. A diferença entre ambas as taipas, poderá dever-se a uma maior quantidade de cal e de agregados de maior dimensão na taipa de Juromenha, levando a um comportamento mais satisfatório (menor absorção de água devida a uma possível menor porosidade);
- 3) Foi possível observar que as massas volúmicas aparentes das duas taipas são bastante semelhantes: para a taipa de Alcácer do Sal obteve-se um valor médio de $1807 \text{ kg}/\text{m}^3$ e para a taipa de Juromenha um valor médio de $1605 \text{ kg}/\text{m}^3$;
- 4) O ensaio de velocidade de propagação de ultrassons permitiu concluir que a taipa de Alcácer do Sal é menos compacta do que a taipa de Juromenha: o valor médio da velocidade de propagação de ultrassons obtido foi de 555 m/s para a primeira e de 748 m/s para a segunda. Este resultado vai ao encontro do comportamento obtido para a absorção de água por

capilaridade, ou seja, a taipa de Juromenha será à partida mais compacta (menos porosa) do que a taipa de Alcácer do Sal;

5) Foi possível concluir que a taipa de Juromenha possui uma resistência à compressão que é cerca de três vezes superior à da taipa de Alcácer. Como referido, tal pode dever-se a uma maior compactidade e maior percentagem de cal na taipa de Juromenha;

6) Por fim, a caracterização granulométrica permitiu concluir que a taipa de Alcácer possui uma maior quantidade de finos (cerca de 75 a 85%) do que a taipa de Juromenha (cerca de 45 a 55%). Foi ainda possível observar a composição de cada taipa. Verificou-se que a de Alcácer do Sal possui conchas, pedra calcária, cerâmicos e quartzo e a de Juromenha possui carvão, cerâmicos, xisto mosqueado e seixos nas suas composições.

6.2. Propostas de desenvolvimentos futuros

O trabalho realizado e apresentado neste documento não constitui um fim em si mesmo no que diz respeito à caracterização da taipa militar e, em particular da taipa militar das fortalezas de Alcácer e Juromenha, pretendendo ser um contributo para um seu maior conhecimento. Assim, propõem-se de seguida alguns tópicos que poderão ser alvo de desenvolvimentos futuros.

Considera-se que será relevante prosseguir com a caracterização das taipas estudadas realizando ensaios adicionais (i) físicos, (ii) de constituição e (iii) microestruturais. Como exemplos propõe-se a realização do ensaio de secagem, da determinação da percentagem de argila nas taipas (e correspondentes curvas granulométricas) e análises termogravimétricas, difrações de raios-X e microscopias eletrónicas de varrimento. Estes ensaios adicionais permitirão uma caracterização mais detalhada das taipas bem como estudar mais aprofundadamente a composição e quantidades de cada elemento presentes nas taipas de ambas as fortalezas.

Por sua vez, este maior conhecimento das taipas existentes, permitirá desenvolver uma segunda proposta de investigação futura e que passa pela produção e caracterização de taipas de substituição. Estas deverão ter composições e propriedades tão semelhantes quanto possíveis às taipas originais. Por fim, propõe-se alargar o âmbito do estudo da taipa militar, realizando mais estudos do mesmo âmbito a outras fortificações da mesma época e com o mesmo sistema construtivo (exemplos, Paderne ou Moura) e assim aumentar o universo das comparações e conclusões.

Referências

Aguiar J, Pacheco P (2019). “Projeto de consolidação e restauro dos paramentos do perímetro abaluartado exterior e cerca islâmica e medieval interior”, Lisboa, Portugal.

Alarcão J (1973). “Portugal romano”, Verbo editora: Lisboa, Portugal.

Braga AMGS, Estevão JMC (2012). “Dificuldades associadas à reabilitação do património construído em taipa no Algarve”, Congresso Construção 2012: Coimbra, Portugal.

Brito S de (2014). “A taipa: otimização de uma técnica antiga como solução de futuro”, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Leiria: Leiria, Portugal.

Bruno P (2000). “A Fortaleza de Juromenha, contributo para o estudo e conservação da muralha islâmica da taipa militar”, Dissertação de mestrado em recuperação do Património Arquitetónico e paisagístico, Universidade de Évora: Évora, Portugal.

Bruno P (2005). “Taipa militar – fortificações do período de domínio muçulmano. Arquitetura de Terra em Portugal”, Arquitectura de terra em Portugal, Argumentum: Lisboa, Portugal.

Bruno P (2006). “A Fortaleza de Juromenha. Contributo para o estudo e conservação da muralha islâmica da taipa militar”, Academia: Lisboa, Portugal.

Chagas J (1995). “O Castelo de Alcácer do Sal e a utilização da taipa militar durante o domínio Almóada”, Dissertação de mestrado de recuperação do património arquitetónico e paisagístico, Universidade de Évora: Évora, Portugal.

Coradinho M (2018). “Castelo de Paderne – caracterização histórica e material”, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa: Caparica, Portugal.

Eugénio M, Ramalho J, Martins R, Barreto D, Leal A, Borges A, Tavares D, Ramalho F (2019). “Projeto de Conservação das Muralhas Castelo de Alcácer do Sal”, Direção Regional de Cultura do Alentejo: Évora, Portugal.

Fernandes M (2013). “A Taipa no Mundo”, CEAUCP/CAM - Centro de Estudos Arqueológicos das Universidades de Coimbra e Porto/Campo Arqueológico de Mértola: Coimbra, Portugal.

Graça AT, Braga AM, Farinha F (2012). “Um contributo para a caracterização mecânica e análise sísmica da construção em taipa”, Congresso de Inovação na Construção Sustentável: Aveiro, Portugal.

Pereira C (2018). “A Técnica da taipa em Portugal: da transmissão do saber-fazer ao ensino formal”, Dissertação de Mestrado em Arquitetura, FAL, Universidade de Lisboa: Lisboa, Portugal.

Ribeiro DS (2016). “Contributo para a caracterização de alvenarias de blocos de terra comprimida” - Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Construção, FCT, Universidade Nova de Lisboa: Caparica, Portugal.

Rosa M (2016). “Arquitetura de terra: reabilitação da taipa”, 2016 - Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Artes, Universidade Lusíada de Lisboa: Lisboa, Portugal.

Sites consultados

Arquivo Nacional, Torre do Tombo, (2022), (<https://digitarq.arquivos.pt/viewer?id=3909707>) (acedido em outubro de 2022)

Ali Israr (2017) “Three-dimensional CIELAB color space where the L* axis represents the color's lightness; B: Two-dimensional CIELAB a*b* plane where C represents chroma and H represents hue”(https://www.researchgate.net/publication/318751900_Cross-modal_correspondence_between_vibrations_and_colors/figures?lo=1 (acedido em novembro de 2022)

AOPIX, 1955 – (<http://www.oapix.org.pt/>) (acedido em novembro de 2022)

Entrelinhas Bíblicas (2022) - (<http://entrelinhasbiblicas.blogspot.com/2015/09/covado-na-biblia.html>) (acedido em novembro de 2022)

Google Earth (2022) - (<https://earth.google.com/>) (acedido em outubro de 2022)

LNEG (2022) – (<https://geoportal.lneg.pt/>) (acedido em outubro de 2022)

Nicolau de Langres (2022). https://fortalezas.org/?ct=fortaleza&id_fortaleza=686 (acedido em outubro de 2022)

Topographic-map.com (2022). <https://pt-pt.topographic-map.com/> (acedido em outubro de 2022)

Referências normativas

DIN 18945 (2013). “Earth blocks - Terms and definitions, requirements, test methods”, Beuth publishing: Berlim, Alemanha.

EN 1015-11 (1999). “Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”, CEN: Brussels, Belgium

EN 1015-18 (2002). “Methods of test mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar”, CEN: Brussels, Belgium.

RILEM II.6 (1980). “Water absorption coefficient (capillarity). RILEM 25-PEM – recommandations provisoires. Essais recommandés pour mesurer l’altération des pierres et évaluer l’efficacité des méthodes de traitement. Matériaux et Construction, vol. 13, No. 75”, RILEM: Champs-sur-Marne, France.

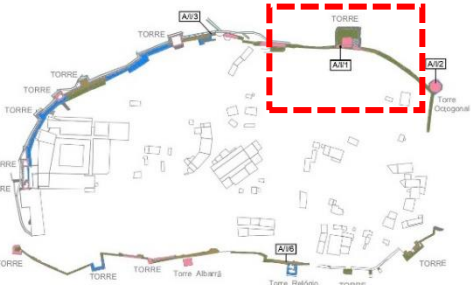
EN ISO/CIE 11664-4 (2019). “Colorimetria — Parte 4: CIE 1976 L*a*b* espaço de cor”, ISO: Genebra, Suíça.

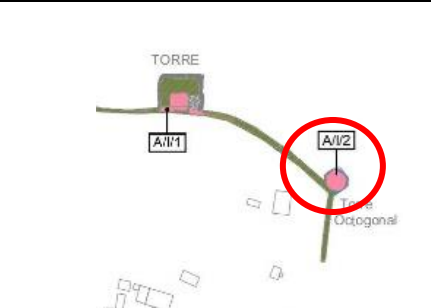
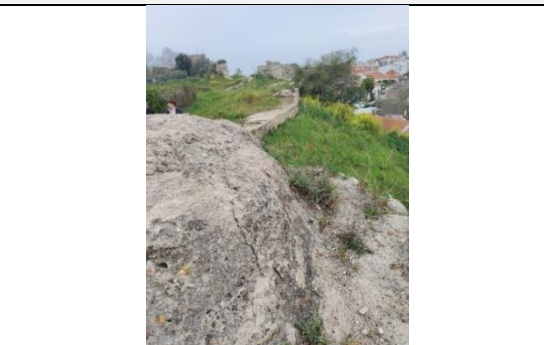
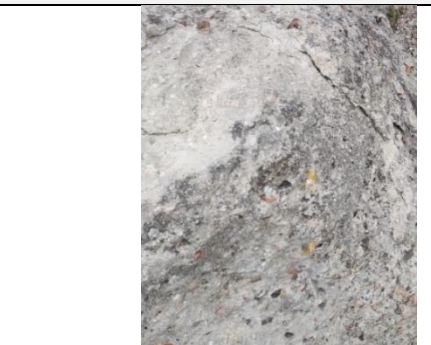
LNEC E 239 (1970). “Solos, análise granulométrica por peneiração húmida”, LNEC: Lisboa. Portugal.

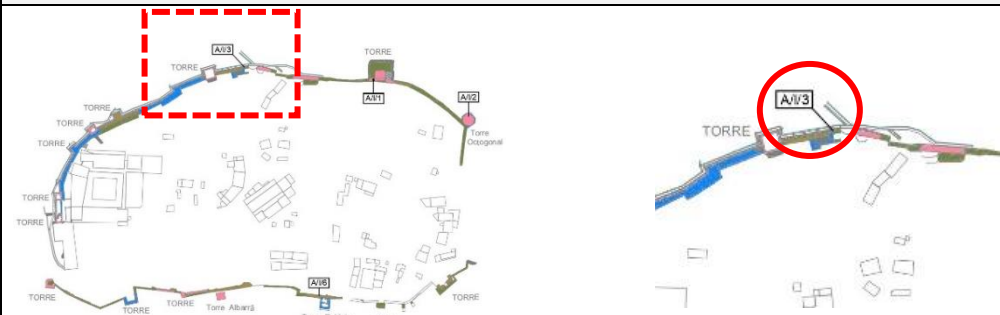
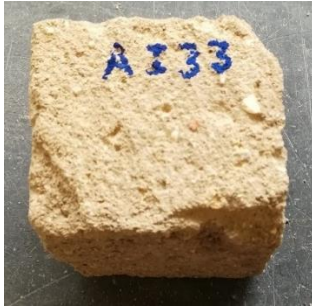
NP EN 12504-4 (2007). “Ensaio do betão nas estruturas, Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultrassons”, Instituto Português da Qualidade: Caparica, Portugal.

UNE 41410 (2008). “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo”, UNE: Madrid, España.

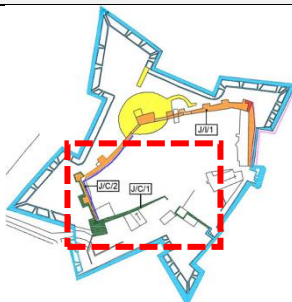
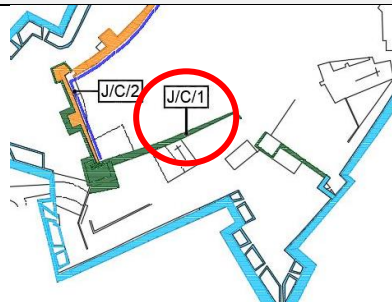
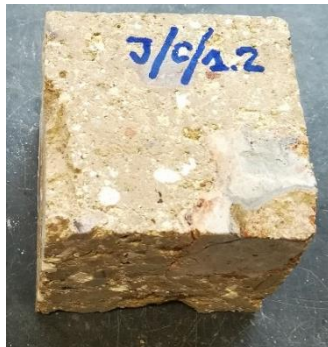
ANEXOS

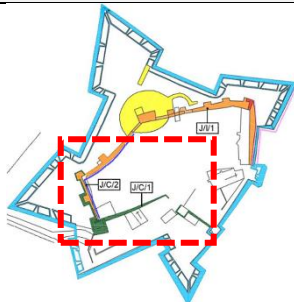
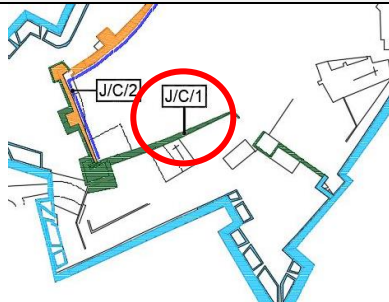
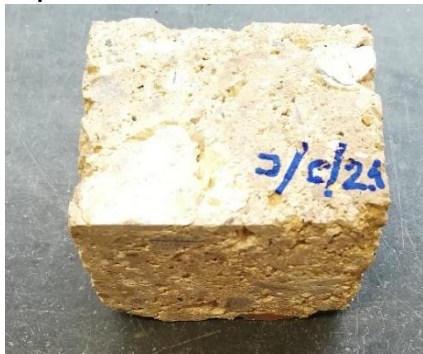
CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS										
MATERIAL	Taipa								REF.	
LOCAL	Fortaleza Alcácer do Sal/ Muralha Islâmica								A/ I/ 1	
AMOSTRAS	A/ I/ 1.1; A/ I/ 1.2; A/ I/ 1.3; A/ I/ 1.4; A/ I/ 1.5; A/ I/ 1.6									
Descrição Sumária da Localização										
Elemento de taipa solto, pertencente ao que resta do troço muralha islâmica, junto à torre minarete, (zona norte da muralha)										
Planta de Localização										
										
Local da Amostra					Amostra Original					
										
Amostra Limpa					Provete para Ensaio – Cubo 50x50x50mm					
										
N.º Fragmentos		1			Dimensão Aprox.			20x30cm		
Cor		cinza			Superfície			Irregular		
Coesão		0		+		x	++		+++	
Colonização Biológica		0		+		x	++		+++	
Vazios		0		+		x	++		+++	
AGREGADOS										
Tipos de Agregados								Descrição		
Areias		0		+		++		+++	x	
Carvão		0		+	x	++		+++		Carvão
Nódulos de cal		0		+		++	x	+++		Cal aérea
Cerâmicos		0		+		++		+++	x	Tijolo
Conchas		0		+		++		+++	x	-
Pedras		0		+		++	x	+++		Calcária

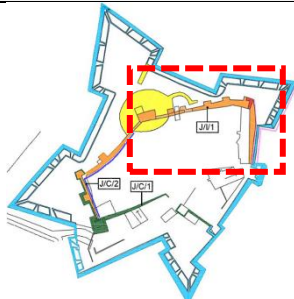
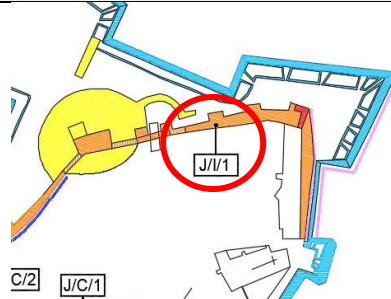
CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS									
MATERIAL	Taipa							REF.	
LOCAL	Fortaleza Alcácer do Sal/ Muralha Islâmica							A/ I/ 2	
AMOSTRAS	A/ I/ 1.1; A/ I/ 1.2; A/ I/ 1.3; A/ I/ 1.4; A/ I/ 1.5; A/ I/ 1.6								
Descrição Sumária da Localização									
Elemento retirado da torre octogonal, da fase islâmica (zona norte/ nascente da muralha)									
Planta de Localização									
									
Local da Amostra					Amostra Original				
									
Amostra Limpa					Provete para Ensaios – Cubo 50x50x50mm				
									
N.º Fragmentos		1			Dimensão Aprox.			15x15cm	
Cor		cinza			Superfície			Irregular	
Coesão		0		+	x	++		+++	
Colonização Biológica		0		+	x	++		+++	
Vazios		0		+	x	++		+++	
AGREGADOS									
Tipos de Agregados								Descrição	
Areias		0		+		++	+++	x	
Carvão		0		+	x	++	+++		Carvão
Nódulos de cal		0		+		++	x	+++	Cal aérea
Cerâmicos		0		+		++		+++	Tijolo
Conchas		0		+		++		+++	-
Pedras		0		+		++	x	+++	Calcária

CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS									
MATERIAL	Taipa							REF.	
LOCAL	Fortaleza Alcácer do Sal/ Muralha Islâmica							A/ I/ 3	
AMOSTRAS	A/ I/ 3.1; A/ I/ 3.2; A/ I/ 3.3; A/ I/ 3.4; A/ I/ 3.5; A/ I/ 3.6; A/ I/ 3.7								
Descrição Sumária da Localização									
Elemento de taipa solto da muralha norte, do plano exterior à fortaleza, podendo tratar-se de taipa de reconstituição, provavelmente da campanha de conservação das muralhas de taipa que ocorreu nos anos de 1982 e 1983									
Planta de Localização									
									
Local da Amostra					Amostra Original				
									
Amostra Limpa					Provete para Ensaio – Cubo 50x50x50mm				
									
N.º Fragmentos		1			Dimensão Aprox.			20x25cm	
Cor		cinza			Superfície			Irregular	
Coesão		0		+	x	++		+++	
Colonização Biológica		0		+	x	++		+++	
Vazios		0		+	x	++		+++	
AGREGADOS									
Tipos de Agregados								Descrição	
Areias		0		+		++	+++	x	
Carvão		0		+	x	++	+++		Carvão
Nódulos de cal		0		+		++	x	+++	Cal aérea
Cerâmicos		0		+		++		+++	Tijolo
Conchas		0		+		++		+++	-
Pedras		0		+		++	x	+++	Calcária

CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS										
MATERIAL	Taipa							REF.		
LOCAL	Fortaleza Alcácer do Sal/ Muralha Islâmica							A/ I/ 6		
AMOSTRAS	A/ I/ 6.1									
Descrição Sumária da Localização										
Elemento de taipa retirado da muralha sul, no plano interior junto à torre do relógio, tratando-se provavelmente de uma taipa de reconstituição fruto da intervenção de consolidação de 1975										
Planta de Localização										
										
Local da Amostra					Amostra Original					
										
Amostra Limpa					Provete para Ensaios					
					Amostra não seccionada, foi unicamente sujeita a ensaio de colorimetria					
N.º Fragmentos		1			Dimensão Aprox.			10x8cm		
Cor		cinza			Superfície			Irregular		
Coesão		0		+		x	++		+++	
Colonização Biológica		0		+		x	++		+++	
Vazios		0		+		x	++		+++	
AGREGADOS										
Tipos de Agregados									Descrição	
Areias		0		+		++		+++	x	
Carvão		0		+	x	++		+++		Carvão
Nódulos de cal		0		+		++	x	+++		Cal aérea
Cerâmicos		0		+		++		+++	x	Tijolo
Conchas		0		+		++		+++	x	-
Pedras		0		+		++	x	+++		Calcária

CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS									
MATERIAL	Taipa							REF.	
LOCAL	Fortaleza Juromenha/ Muralha Cristã							J/ C/ 1	
AMOSTRAS	J/ C/ 1.1; J/ C/ 1.2; J/ C/ 1.3; J/ C/ 1.4; J/ C/ 1.5; J/ C/ 1.6; J/ C/ 1.7								
Descrição Sumária da Localização									
Bloco de taipa retirado, em fase de obra, da zona da muralha mediável cristã, junto à capela da Misericórdia de Juromenha, que se prevê de origem.									
Planta de Localização									
									
Local da Amostra					Amostra Original				
									
Amostra Limpa					Provete para Ensaio – Cubo 50x50x50mm				
									
N.º Fragmentos		1			Dimensão Aprox.			20x15cm	
Cor		castanho			Superfície			Irregular	
Coesão		0		+		++		+++	x
Colonização Biológica		0		+		++	x	+++	
Vazios		0		+	x	++		+++	
AGREGADOS									
Tipos de Agregados								Descrição	
Areias		0		+		++	x	+++	
Carvão		0		+		++	x	+++	Carvão
Nódulos de cal		0		+		++		+++	x Cal aérea
Cerâmicos		0		+		++		+++	x Tijolo
Conchas		0	x	+		++		+++	-
Pedras		0		+		++	x	+++	Xisto

CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS									
MATERIAL	Taipa							REF.	
LOCAL	Fortaleza Juromenha/ Muralha Cristã							J/ C/ 2	
AMOSTRAS	J/ C/ 2.1; J/ C/ 2.2								
Descrição Sumária da Localização									
Bloco de taipa retirado, em fase de obra, da zona de transformação da muralha mediável.									
Planta de Localização									
									
Local da Amostra					Amostra Original				
									
Amostra Limpa					Provete para Ensaios – Cubo 50x50x50mm				
									
N.º Fragmentos	1				Dimensão Aprox.			10x10cm	
Cor	castanho				Superfície			Irregular	
Coesão	0		+		++		+++	x	
Colonização Biológica	0		+		++	x	+++		
Vazios	0		+	x	++		+++		
AGREGADOS									
Tipos de Agregados								Descrição	
Areias	0		+		++	x	+++		
Carvão	0		+		++	x	+++	Carvão	
Nódulos de cal	0		+		++		+++	x Cal aérea	
Cerâmicos	0		+		++		+++	x Tijolo	
Conchas	0	x	+		++		+++	-	
Pedras	0		+	x	++		+++	Xisto	

CARACTERIZAÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS RECOLHIDAS									
MATERIAL	Taipa							REF.	
LOCAL/ AMOSTRA	Fortaleza Juromenha/ Muralha Islâmica							J/ I/ 1	
Descrição Sumária da Localização									
Bloco de taipa retirado, em fase de obra, da zona da muralha mediável islâmica século X e XI, que se prevê da origem da fortificação.									
Planta de Localização									
									
Local da Amostra					Amostra Original				
									
Amostra Limpa					Provete para Ensaio – Cubo 50x50x50mm				
									
N.º Fragmentos		1			Dimensão Aprox.			20x15cm	
Cor		castanho			Superfície			Irregular	
Coesão		0		+		++		+++	x
Colonização Biológica		0		+		++	x	+++	
Vazios		0		+	x	++		+++	
AGREGADOS									
Tipos de Agregados								Descrição	
Areias		0		+		++	x	+++	
Carvão		0		+		++	x	+++	Carvão
Nódulos de cal		0		+		++		+++	x
Cerâmicos		0		+		++		+++	x
Conchas		0	x	+		++		+++	-
Pedras		0		+	x	++		+++	Xisto