



**Universidade de  
Aveiro  
2013**

Departamento de Engenharia Civil

**Leonor da Conceição  
Pereira Neves**

**Análise de Revestimentos Tradicionais da Madeira**



**Leonor da Conceição  
Pereira Neves**

**Análise de Revestimentos Tradicionais da  
Madeira**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e co-orientação científica do Doutor João Baptista Pereira Silva, Investigador da Unidade de Investigação GEOBIOTEC, FCT, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.

*Ao Antero*

## **O júri**

Presidente

Prof. Doutor Paulo Barreto Cachim

Professor Associado da Universidade de Aveiro

Doutor Eduardo Jorge Marques de Oliveira Ferraz

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Tomar - Escola Superior  
de Tecnologia de Tomar

Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa

Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Doutor João Baptista Pereira Silva

Investigador da Universidade de Aveiro

## **Agradecimentos**

À Professora Ana Velosa e ao Doutor João Baptista pela amizade e paciência que colocaram na minha orientação durante este trabalho.

Ao Professor Fernando Rocha pela sua disponibilidade e me ter transmitido conhecimentos em geologia.

Às Mestres Cristina Sequeira e Denise Terroso pelo auxílio prestado em questões laboratoriais, e em especial à Eng<sup>a</sup> Maria Carlos.

Dedico também este trabalho a todos os que me apoiaram e que fazem parte da minha vida: à minha Madrinha, Rosalina, que me proporcionou tudo isto, aos meus pais Amândio e Clotilde, aos meus sogros América e Gaspar, e ao Antero que é a minha vida.

**palavras-chave**

Argamassas de revestimento e enchimento, construção tradicional das ilhas da Madeira e do Porto Santo, técnicas construtivas.

**resumo**

Esta dissertação tem como principal objectivo a análise química e mineralógica de materiais de enchimento e de revestimento utilizados na construção tradicional nas ilhas da Madeira e do Porto Santo permitindo-nos ter conhecimento dos componentes, estilos e das técnicas construtivas, dos agentes de degradação, e de acções de conservação e restauro.

**keywords**

Mortars, traditional construction of Madeira and Porto Santo, construction techniques

**abstract**

This work has as main objective the analysis of fillers and coatings used in traditional construction in Madeira and Porto Santo allowing us to also have knowledge of construction materials, proportions, styles, techniques, agents of degradation, and actions for conservation and restoration.

# Índice

1	Introdução.....	8
1.1	Enquadramento.....	8
1.2	Justificação do tema.....	8
1.3	Objectivos.....	8
1.4	Estrutura do trabalho.....	9
2	Técnicas e materiais de construção usados.....	10
3	Clima.....	14
4	Edifícios estudados.....	16
4.1	Casas de Salão.....	16
4.2	Mosteiro e Convento de Santa Clara.....	18
4.3	Fortaleza Palácio de São Lourenço.....	20
4.4	Fortaleza de São Tiago.....	22
4.5	Sé do Funchal.....	23
4.6	Forte de São José.....	25
4.7	Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade.....	26
4.8	Forno da Cal do Calhau da Serra de Fora.....	27
4.9	Nora da Lagoa.....	28
5	Amostragem.....	29
6	Métodos e técnicas analíticas.....	34
6.1	Difracção Raio X.....	34
6.2	Fluorescência Raio X.....	35
6.3	Perda ao rubro.....	36
6.4	Condutividade.....	36
6.5	Dissolução ácida.....	37
6.6	Capilaridade.....	38
6.7	Resistência mecânica.....	39
7	Resultados obtidos e sua interpretação.....	42
7.1	Difracção Raio X.....	42
7.2	Fluorescência Raio X e Perda ao rubro.....	44
7.3	Condutividade.....	47
7.4	Dissolução ácida.....	51



7.5	Capilaridade .....	54
7.6	Resistência mecânica.....	59
8	Conclusão .....	63
9	Referências bibliográficas .....	66
10	Lista de figuras.....	68
11	Lista de tabelas.....	70

# **1 Introdução**

## **1.1 Enquadramento**

Este trabalho tem como finalidade a caracterização e a análise química e mineralógica de materiais de enchimento e de revestimento (argamassas) utilizadas na construção tradicional nas ilhas da Madeira e do Porto Santo permitindo-nos também ter conhecimento das técnicas construtivas, dos agentes de degradação, e das acções de conservação e restauro, e ao mesmo tempo estabelecer a origem dos materiais, do continente ou locais.

Foi realizado um trabalho preliminar na escolha dos monumentos e edifícios a estudar, como critérios de selecção foram levados em conta as diferentes épocas de construção, pois trata-se de edifícios construídos no século XV ao XIX, e possuem ainda algumas argamassas originais, utilizadas na época de construção.

Os edifícios e monumentos foram alvo de intervenções, uns mais do que outros, sendo que provavelmente algumas amostras, as mais superficiais, de enchimento e revestimento são mais recentes, devido a intervenções realizadas posteriormente à sua construção.

## **1.2 Justificação do tema**

Este tema vem na sequência do trabalho desenvolvido no âmbito do Concurso 2008 de Bolsas de Integração na Investigação para estudantes do 1º Ciclo do Ensino Superior, Referência: BII/UNI/4035/CTE/2008, sobre a caracterização dos materiais de construção utilizados na Fortaleza e Palácio de São Lourenço, Funchal.

Algumas componentes do referido trabalho de investigação técnica e científica foram executadas em parceria com instituições públicas e privadas entre as quais se destacam: Centro de Investigação GEOBIOTEC, Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Direcção Regional dos Assuntos Culturais (DRAC), ENGEOMAD - Geoengenharia e Consultadoria e do Museu Militar da Madeira.

## **1.3 Objectivos**

Esta dissertação tem como objectivo a caracterização de algumas das propriedades físicas e a análise mineralógica e química dos materiais de enchimento e revestimento, utilizados nas ilhas da Madeira e do Porto Santo, com particular destaque para os monumentos e edifícios históricos da cidade do Funchal com épocas de construção distintas, tendo algumas argamassas originais utilizadas na época de construção não tendo sido objecto de qualquer restauro e outras que foram alvo de intervenção.

O estudo dos mesmos irá permitir-nos concluir se as argamassas são do Continente ou das ilhas da Madeira e do Porto Santo.

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

Esta dissertação é constituída por nove capítulos. O primeiro capítulo é constituído por um pequeno enquadramento, uma justificação do tema, e os objectivos deste trabalho. No segundo capítulo são descritas as técnicas e materiais de construção usadas, e no terceiro capítulo fazemos uma referência ao clima no Arquipélago da Madeira.

O quarto capítulo faz uma referência aos monumentos e edifícios estudados, tanto a nível arquitectónico como a nível histórico.

O quinto capítulo é constituído por uma listagem de amostras que refere o local de onde foram retiradas assim como uma ilustração das mesmas.

O sexto capítulo aborda os métodos e técnicas analíticas utilizadas individualmente no tratamento das amostras.

O sétimo capítulo apresenta os resultados obtidos nos diversos métodos e técnicas analíticas aplicadas, e análise dos mesmos.

No capítulo oito são apresentadas as conclusões finais.

O capítulo nove consta a listagem da bibliografia utilizada na realização deste trabalho.

## 2 Técnicas e materiais de construção usados

A qualidade das argamassas utilizadas na construção de um edifício tem uma importância muito significativa quanto à sua salubridade, conforto e durabilidade (Martins, Assunção, 2010).

Inicialmente as argamassas eram utilizadas para revestir paredes e pavimentos com a função de proteger e reforçar as mesmas. Utilizava-se unicamente o barro, posteriormente foi-lhe adicionado fibras vegetais e palha, a fim de lhe conferir uma maior consistência. Com o decorrer dos anos passou-se a usar areia, pois esta reduz significativamente a retracção da argamassa, tornando-a mais dura e resistente (Martins, Assunção 2010).

A construção nas ilhas da Madeira e do Porto Santo era condicionada pelos materiais de construção existentes no arquipélago.

A maioria das formações geológicas existentes na ilha da Madeira dividem-se em dois grupos. O primeiro grupo integra rochas que resultam da actividade efusiva ou lávica, sendo compactadas e/ou porosas, representadas por escoadas basálticas. O segundo grupo integra as rochas resultantes da actividade explosiva, designadas piroclásticas (Gomes, Silva, 1997).

Na ilha de Porto Santo são exploradas pedras em dois maciços vulcânicos. Do primeiro resultam rochas de composição intermédia a ácida (traquito), do segundo resultam rochas piroclásticas (tufo lapilli) (Gomes, Silva, 1997).

Os monumentos foram construídos por blocos de pedra de origem vulcânica. Entre as tipologias mais representativas destacam-se dois grupos: o primeiro formado pelos tufos de lapilli, tufos brecha e as brechas piroclásticas, que exibem diferentes tonalidades cromáticas e que são designadas localmente por “cantaria mole”, e o segundo composto pelos traquibasaltos, traquiandesitos basálticos, traquitos, andesitos e tetrítos, que exibem tonalidade cinzenta, mais ou menos escura, e que localmente são designadas de “cantarias rijas” (Mestre, 2002).

As cantarias moles distinguem-se das cantarias rijas por apresentarem menor resistência ao corte, maior porosidade e uma enorme gama de tonalidades cromáticas (Gomes, Silva, 1997).

A extracção do tufo para uso em construção civil é corrente no arquipélago da Madeira, devendo-se ao facto destes terem fácil trabalhabilidade, leveza no transporte, fácil extracção e devido às oxidações de sais de ferro possuem uma cor avermelhada, podendo ter várias tonalidades dependendo de onde são extraídas (Mestre, 2002).

A caição nos monumentos era feita através da mistura de cal viva com ocre amarelo, sebo e água. Como sebo era utilizado óleo dos açores, óleo de peixe, ou óleo de baleia.

A cal viva resulta da calcinação de pedras calcárias. As pedras calcárias são colocadas num forno adequado, tendo um tempo de cozedura de aproximadamente dois dias, depois retira-se do forno e coloca-se num terreiro coberto onde se adiciona água fria, desta forma, a pedra de cal aumenta de volume, estala e transforma-se em pó (Mestre, 2002).

A classificação dos agregados é feita de acordo com a sua esfericidade e arredondamento, os agregados de origem fluvial não são tão polidos, e os bordos não são tão arredondados como os de origem marítima.

As argamassas utilizadas nos edifícios e monumentos da ilha da Madeira são constituídas essencialmente por areia da ribeira/fluvial ou marinha (no caso das argamassas mais recentes), formadas por materiais de origem vulcânica, sebo animal ou seiva de folha de tabaibeira e cal.

As argamassas utilizadas nos edifícios e monumentos da ilha do Porto Santo são constituídas por areia carbonatada biogénica, ou areia marinha de origem sedimentar ou vulcânica, e cal.

As argamassas mais comuns são constituídas por cimento, areia e água. Em alguns casos, costuma-se adicionar outro material como a cal, saibro, barro, caulino, e outros para a obtenção de propriedades especiais.

Os factores que condicionam a qualidade de uma argamassa são:

- agregado (devido ao volume de vazios);
- ligante;
- adjuvantes.

Ao longo destes anos foram feitas grandes descobertas no sentido de melhorar a estabilização e resistência das paredes e pavimentos, passando-se a utilizar ligantes e adjuvantes mais sofisticados.

As argamassas tradicionais passaram a ser constituídas por ligantes, nomeadamente, cal aérea, cal hidráulica e cimento, por agregados e por adjuvantes como resinas, pozolanas, hidrofugos, introdutores de ar, plastificantes, e retentores de água.

A cal aérea é um dos ligantes mais antigos, resultando da cozedura dos calcários constituídos essencialmente por  $\text{CaCO}_3$ , pode ser cálcica, tendo como elemento predominante o  $\text{CaO}$ , ou dolomítica tendo como elemento predominante o  $\text{MgCO}_3$ . Esta cal endurece lentamente ao ar por reacção com o dióxido de carbono, porém de um modo geral não endurece na água pois não possui propriedades hidráulicas.

A cal hidráulica é um ligante constituído na sua maioria por silicatos, aluminatos de cálcio, que endurece tanto na água como no ar. A temperatura de cozedura desta cal é superior à temperatura de cozedura da cal aérea. Quanto maior for a temperatura de cozedura, até um limite de  $1500^\circ\text{C}$ , e a

percentagem de sílica e alumina, mais completa será a reacção, diminuindo assim a percentagem de cálcio e aumentando a de silicatos.

Os adjuvantes permitem uma melhoria da sua trabalhabilidade e resistência mecânica entre outros, sendo que são utilizados em função da finalidade que se pretende.

A resina devido à sua composição química possui elevada viscosidade, flexibilidade o que permite uma maior aderência e conseqüentemente uma maior resistência à tracção e compressão das argamassas.

Os hidrofugos permitem uma impermeabilidade da argamassa à água, quer por penetração, quer por capilaridade.

Os introdutores de ar provocam a formação de bolhas de ar que permitem uma melhoria na impermeabilização, pois diminui a absorção de água por capilaridade, resistência ao gelo e resistência aos sais.

Os plastificantes e os retentores de água permitem reduzir o teor de água na amassadura, e simultaneamente reduzir os riscos de absorção prematura de água e de evaporação em alturas de temperatura mais elevada, sendo que desta forma a retracção da argamassa é menor.

As pozolanas são materiais siliciosos ou aluminosos que na presença de água reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio formando compostos com propriedades cimentícias. Existem dois tipos de pozolanas, as naturais e as artificiais. As naturais podem ser materiais de origem vulcânica, como a pedra-pomes, ou perlites, as artificiais podem ser escórias de alto-forno, e cinzas volantes. São utilizadas em ambientes quimicamente agressivos, permitindo após a reacção sílica-inertes uma maior coesão na argamassa (Martins, Assunção, 2010).

As argamassas devem apresentar as seguintes características de forma a cumprir correctamente as suas funções.

- compacidade, esta característica é conseguida através do uso de areias com diferentes tamanhos de grãos, sendo que os mais pequenos preenchem as lacunas deixados pelos grãos maiores;
- resistência mecânica, esta característica permite que a argamassa resista a esforços mecânicos sem desagregações ou deformações, e esforços ao desgaste superficial, depende da natureza dos ligantes e agregados;
- aderência, esta característica permite à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais que actuam na interface com a base;
- resistência à compressão, é essencial que as argamassas utilizadas nas alvenarias e cantarias que estão sujeitas a tensões significativas tenham uma resistência à

compressão entre os 5 a 10  $M_{pa}$ , esta característica depende da dureza da areia, da qualidade e dosagem do aglutinante, composição granulométrica da areia, quantidade de água na amassadura e do modo de fabrico da argamassa;

- flexibilidade, esta característica é muito importante no sentido de as argamassas possuírem a capacidade de absorver deformações intrínsecas, e deformação de base de suporte, sem apresentar fissurações visíveis, após os esforços actuantes ultrapassarem o valor limite de resistência à tracção. Esta característica depende do teor e natureza dos ligantes (devem ser pouco reactivos), agregados (dever ter uma granulometria continua, de forma a reduzir o número de vazios e consequentemente diminuir a quantidade de água, que irá provocar uma maior retracção) e absorção de água na amassadura adequada;
- impermeabilidade, esta característica é fundamental na estanquicidade, e na protecção contra as infiltrações de água. A impermeabilidade é influenciada pelo traço da argamassa, natureza dos agregados, espessura da camada, quantidade de fissuras existentes;
- consistência, esta característica permite à argamassa resistir às deformações que lhe são impostas;
- plasticidade, esta característica permite à argamassa deformar-se sem sofrer qualquer ruptura, embora a deformação se mantenha depois de retirado o esforço aplicado;
- trabalhabilidade, esta característica permite-nos determinar a facilidade de trabalhar a argamassa, desta forma a argamassa possui uma viscosidade suficiente para o fácil manejo da mesma, resulta das características referidas anteriormente.

### 3 Clima

O arquipélago da Madeira é constituído pelas ilhas da Madeira e do Porto Santo e ainda pelas reservas naturais das ilhas Desertas (Ilhéu Chão, Deserta Grande e Bugio) e das ilhas Selvagens (Selvagem Grande e Selvagem Pequena). Este arquipélago constitui, juntamente com os arquipélagos atlânticos dos Açores, Canárias e Cabo Verde a região biogeográfica da Macaronésia.



Fig. 3.1 Localização do Arquipélago da Madeira no Oceano Atlântico

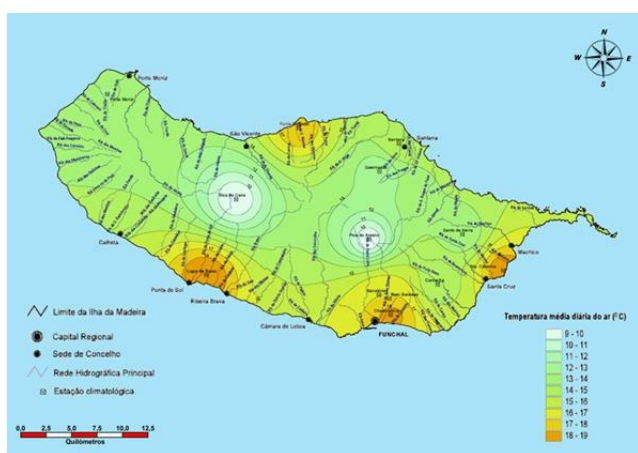
O clima do arquipélago da madeira é resultado de uma combinação relativamente complexa de factores. Situado numa região subtropical do globo, o conjunto de ilhas sofre a influência de sistemas frontais associados a centros de baixas pressões da Frente Polar e de centros anticiclónicos relacionados com o anticiclone dos Açores, sendo este o maior responsável pelas condições meteorológicas do Arquipélago da Madeira.

É a posição do Anticiclone dos Açores que determina, em grande parte, as condições meteorológicas que se verificam no Atlântico. Durante o Inverno registam-se posições mais a sul o que pode fazer com que surjam na Madeira alguns sistemas depressionários que provocam grandes níveis de precipitação, no entanto, os efeitos deste no clima madeirense resultam, fundamentalmente, em condições climáticas muito agradáveis. Não se registam temperaturas muito elevadas (os dias mais quentes podem rondar os 33 °C e acontecem durante o chamado “Tempo de Leste” com ventos

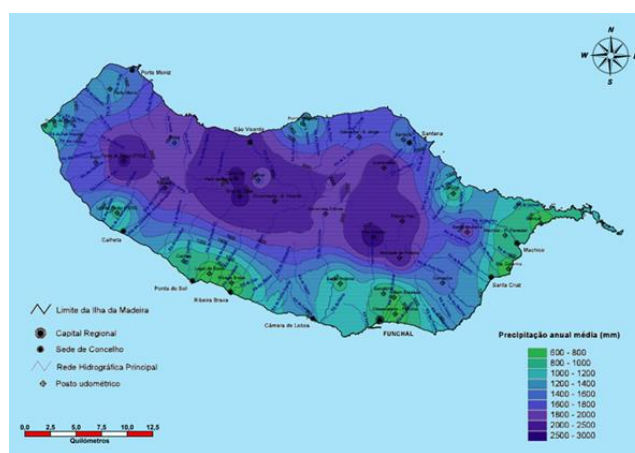


vindos desse quadrante onde, não muito longe, se encontra o deserto do Sahara) e a variação entre as médias (máximas e mínimas) de Verão e Inverno ronda os 4 °C.

Para além destes factores que se prendem com a posição do arquipélago da Madeira no globo, temos depois factores regionais como são relevo que encontramos nas ilhas, a altitude a que nos encontramos, a exposição aos ventos e à radiação solar. No caso particular da ilha da Madeira, o complexo relevo encontrado favorece a presença de zonas com microclimas muito distintos com todas as consequências que isso traz para a vida dos habitantes. Já em Porto Santo e ilhas Selvagens é a inexistência dessa complexidade no relevo que faz com que o clima se mantenha uniforme por toda a ilha.



**Fig. 3.2** Distribuição da temperatura média diária do ar na ilha da Madeira



**Fig. 3.3** Distribuição da precipitação média anual na ilha da Madeira

## 4 Edifícios estudados

A construção nas ilhas da Madeira e do Porto Santo foi condicionada pelos materiais de construção existentes no arquipélago.

Nos monumentos e edifícios onde foram recolhidas as amostras, as rochas vulcânicas aplicadas são designadas localmente de cantarias “moles” quando correspondem a materiais piroclásticos coesos; cantarias “rijas” quando se tratam de rochas lávicas básicas a intermédias como os (basaltos, tarquibalsaltos, tefritos) ou rochas ácidas de tonalidade cinzenta clara como os traquitos do Porto Santo.

Optamos por estudar os materiais de enchimento e de revestimento utilizados na construção de monumentos, edifícios e infra-estruturas com diferentes épocas de construção, desde o século XV ao século XIX. Foram seleccionados os imóveis seguintes: Mosteiro e Convento de Santa Clara, Palácio Fortaleza de S. Lourenço, Sé do Funchal, Museu de Arte Contemporânea - Forte de São Tiago, Forte de São José – Principado da Pontinha na ilha da Madeira e, o Núcleo de Casas de Salão das Eiras, Forno da Cal do Calhau da Serra de Fora, a Nora da Lagoa, e a Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade na ilha de Porto Santo pelo facto dos referidos imóveis apresentarem alguns materiais de construção que não sofreram intervenção e serem representativos das técnicas e materiais de construção usados.

### 4.1 Casas de Salão

Uma das principais manifestações de arquitectura tradicional do Porto Santo são as casas de Salão, de aspecto humilde, que se caracterizam por ter o seu telhado coberto com “salão” utilizado devido às condições climáticas e aos recursos naturais disponíveis na ilha. Salão é um tipo de argila de composição arenosa e de grande aderência que confere às casas um extraordinário e adequado enquadramento na paisagem rural porto-santense. As construções que utilizam este tipo de cobertura são de quatro ou duas águas, podendo por vezes ser de uma água só. Podem ser casas de habitação, estábulos ou construções de apoio à lavoura, sendo que a tipologia é térrea com a cozinha integrada e forno no exterior, o número de compartimentos pode variar, mas os mesmos comunicam entre si (Mestre, 2005).

Este tipo de argila designada bentonite existe sob a forma de granulado fino de cor amarelo-esverdeado e engloba aleatoriamente dispersos vulcanoclastos de dimensão variada.

A bentonite é uma designação genética e comercial atribuída a uma argila rica em minerais argilosos do grupo da esmectite que reúne filossilicatos hidratados de estrutura planar, dioctaédricos

(montmorilonite, beidelite, nontronite e volkonskoite) ou trioctaédricos (saponite, hectorite, sauconite, stevensite e swinefordite), possuindo catiões trocáveis e solvatáveis (Na, Li, Ca e Mg) nos espaços entre camadas estruturais. Na Serra de Dentro, na ilha do Porto Santo encontram-se grandes depósitos de bentonite, resultam da alteração deutérica ou meteórica, em meios submarino ou subaéreo, de rochas vulcânicas extrusivas, piroclásticas (cinzas ou tufos) ou lávicas (riolitos, dacitos e andesitos) de carácter químico ácido ou intermédio.

A técnica construtiva e a metodologia de preparação e aplicação do “salão” é constituída por várias etapas, tendo que ser efectuadas continuamente.

A cobertura de salão assenta nas empenas triangulares que suportam um toro central de madeira, para apoio da restante estrutura da cobertura. Entre as fachadas e o toro central posicionam-se os caibros, sobre os quais é colocado um forro de caniço seco, tamargueira ou feiteira. Sobre o forro é espalhado uma camada de salão, bem amassado com água, com 5 a 7 cm de espessura e, por cima desta é colocada uma mistura de salão com fragmentos de calcoarenito seco. Trata-se de casas bem climatizadas (Gomes, Silva, 2006)

Estas casas são muito frescas no Verão, porque aparecem fendas no salão quando este está seco, devido à sua capacidade de retracção, permitindo desta forma uma ventilação natural. No Inverno, esta mistura absorve a água das chuvas, devido à sua capacidade de expansão, tornando-se esponjosa e impermeável, permitindo um aquecimento no interior das mesmas. Este tipo de construção permite uma fácil manutenção, bastando o acréscimo de barro na zona onde este se tenha deslocado (Mestre, 2002).



Fig. 4.1 Casa de Salão, Serra de Fora, Ilha de Porto Santo



Fig. 4.2 Barragem revestida com bentonite (salão)



Fig. 4.3 Pormenor de aplicação dos materiais na cobertura numa casa de salão no sítio das Eiras, ilha do Porto Santo

## 4.2 Mosteiro e Convento de Santa Clara

O Mosteiro de Santa Clara foi mandado construir nos finais do século XV por João Gonçalves da Câmara, filho do navegador e primeiro capitão donatário da ilha da Madeira, João Gonçalves Zarco, nas imediações da sua residência para recolher filhas da nobreza local. Várias reformas artísticas posteriores modificaram a sua traça original.

As obras de construção foram concluídas em 1497, altura em que foi recebida a primeira comunidade de freiras clarissas. Até meados do século XVIII o convento recebeu um grande número de freiras, mas com a extinção das Ordens Religiosas, as mesmas deixaram de ser admitidas.

Após o falecimento da última irmã, o edifício e propriedades pertencentes a este convento passaram para dependência do Estado. Em 1896 parte das instalações foram cedidas à congregação das Franciscanas Missionárias de Maria que ali permaneceram até à implantação da República. Anos mais tarde o Governo da República cedeu à Câmara Municipal do Funchal a guarda e conservação da Igreja de Santa Clara e actualmente várias instalações encontram-se reocupadas pelas Irmãs Franciscanas, às quais foi cedida autorização de permanência, assim como a de estabelecer naquele local um colégio e uma creche para crianças de famílias com poucos recursos.

A fachada de Santa Clara mostra uma torre erguida no período maneirista. De planta quadrangular dividida em três andares com alturas desiguais, a torre é marcada por cornijas e rasgada nos andares superiores por janelas, enquanto o inferior apresenta olhais, a sua cobertura é feita por cúpula de oito faces, forradas de azulejos. O portal principal, uma construção gótica, é aberto na parede lateral, de acordo com a tipologia construtiva da ordem das freiras clarissas.

Possui uma arquitectura religiosa, manuelina, maneirista e barroca, tratando-se de um convento manuelino, profundamente reformulado em estilo maneirista e barroco. Porém alguns elementos da primitiva estrutura foram mantidos, como portal da inicial capela, o panteão dos Câmaras, as arcarias e o piso térreo dos claustros.



**Fig. 4.4** Mosteiro e Convento de Santa Clara, Funchal



**Fig. 4.5** Torre sineira do Mosteiro Convento de Santa Clara



**Fig. 4.6** Altar da Capela do Convento de Santa Clara

Foram usados na sua construção cantaria mole e rígida regional aparente, alvenaria de cantaria regional rebocada, mármore, madeira (carvalho, til, pinho de Riga e outras), amarrações mistas de tirantes de madeira e de ferro, telha meia cana, vidro, prata, azulejos, talha dourada e policromada, pinturas sobre madeira e sobre tela, e esculturas de madeira e de barro, alumínio, zinco, betão (Monumentos, 2012).

### 4.3 Fortaleza Palácio de São Lourenço

A Fortaleza-Palácio de São Lourenço localiza-se no centro histórico da cidade do Funchal, na Região Autónoma da Madeira. Constitui-se num conjunto monumental originalmente com a dupla função de fortificação e paço, considerado como a mais imponente exemplar de arquitectura civil e militar da ilha da Madeira. A Fortaleza de São Lourenço começou a ser construída na primeira metade do século XVI, tendo sido concluída durante a Dinastia Filipina.

A primitiva edificação no local remonta à época do segundo capitão do donatário do Funchal, João Gonçalves da Câmara (1467-1501), quando fez erguer para si uma casa de residência no local então denominado como "*Altinho das Fontes*", junto ao mar, onde brotavam as chamadas "*Fontes de João Diniz*". Em 1476 pediu à Infanta D. Beatriz, autorização e meios para a fortificação do Funchal porém esta não lhe forneceu o que ele necessitava, tendo adiado a obra. Assim, o donatário renovou, em 1494 o pedido de autorização para a edificação de uma cerca, muros e um baluarte com uma torre junto à sua residência. Apenas em 1513, já com o terceiro Capitão- donatário, Simão Gonçalves da Câmara é que se iniciaram os trabalhos de fortificação, com as obras do "mestre das obras reais", João de Cáceres.

Na sequência do saque do Funchal de 1566, o novo mestre das Obras Reais na Madeira, Mateus Fernandes (III), procedeu a ampliação do antigo baluarte.

Em 1635 foi edificada a capela baptizada com o nome do santo padroeiro, São Lourenço. Todavia deste templo subsiste apenas uma inscrição gravada na cantaria e que alude à sua fundação. Com efeito, as profundas obras de remodelação e adaptação realizadas nos séculos XVIII e XIX alteraram a fachada palaciana e demoliram a capela seiscentista.

Em 1836 procedeu-se à separação da Fortaleza Palácio em: Área Militar e Palácio.

Inicialmente servia como residência dos capitães donatários do Funchal, dos governadores e capitães gerais da Madeira, actualmente serve como residência Oficial do Representante da República para a Região Autónoma da Madeira e residência do Comandante Operacional e da Zona Militar da Madeira.

Possui uma arquitectura militar, manuelina e maneirista, a Fortaleza é constituída por um baluarte joanino, dentro da "arquitectura militar de transição", como a Torre de Belém, ampliado com três baluartes pentagonais "à moderna" e depois ainda um outro, maneirista, para proteger a porta, no interior do qual se formou progressivamente um amplo palácio residencial.

Importante conjunto de arquitectura militar de transição de acordo com as de defesa da residência e de prestígio do capitão donatário e progressivamente transformada em "palácio

nacional". É um dos exemplos melhor conservados da fortificação portuguesa da sua época e um elemento essencial de referência histórica e política da Região Autónoma da Madeira.

A Fortaleza Palácio de S. Lourenço possui uma planta complexa estrelada com bateria baixa frente ao mar flanqueada por dois torreões e uma torre avançada ao mar, e pátio interior delimitado por edifícios flanqueados por três baluartes virados à cidade, com o central a proteger a porta.

A Fortaleza Palácio é constituída por cantaria de origem vulcânica, e podemos observar que tem várias constituições. Trata-se de tufo de lapilli, brecha e basalto, tem toda uma mistura de cantaria mole e rígida. A extracção do tufo para uso em construção civil é corrente na Madeira, devendo-se ao facto destes terem fácil trabalhabilidade, leveza no transporte, fácil extracção e devido às oxidações de sais de ferro possuem uma cor avermelhada, podendo ter várias tonalidades dependendo de onde são extraídas.

Actualmente a Fortaleza Palácio tem betão, mármore, madeira (carvalho, til, exóticas do Brasil, pinho de Riga e outras), amarrações mistas de tirantes de madeira e de ferro, azulejos, talha dourada, pinturas sobre gesso, madeira e tela, vidro, e telha de meio canudo.

As fachadas são rebocadas e pintadas de branco, com cunhais e remates em cornijas de cantaria (Carita, 1981).



**Fig. 4.7** Fortaleza Palácio de São Lourenço



**Fig. 4.8** Nicho da sala matacão na Fortaleza Palácio de S. Lourenço

#### 4.4 Fortaleza de São Tiago

A Fortaleza de São Tiago foi mandada construir por Jerónimo Jorge, tendo ido para a Madeira para substituir Mateus Fernandes, autor dos planos das muralhas da cidade e que ali trabalhava desde 1596. Após a morte de Jerónimo Jorge em 1617, as obras ficaram a cargo do seu filho, Bartolomeu João. A primeira fase das obras da fortaleza deve ter ficado concluída em 1637, em tempo de D. Filipe II de Portugal. No século XVIII retomaram-se as obras sob as ordens do governador José Correia de Sá, que foram dirigidas pelo Engenheiro Tossi Columbina, autor do projecto de construção do porto do Funchal.

Algumas modificações foram realizadas no tempo das guerras napoleónicas, no início do século XIX, tendo a fortaleza servido de aquartelamento a tropas britânicas. No ano de 1803, foram recolhidas na fortaleza muitas famílias que ficaram desalojadas aquando do terrível aluvião. Em meados do mesmo século foi construída a casa do comandante e da guarda. No início do século XX foram realizadas novamente obras, sendo a fortaleza quartel da Bateria de Artilharia Móvel. Passou a pertencer à Região Autónoma da Madeira em 17 de Julho de 1992, o qual servia de aquartelamento da Polícia do Exército e do Esquadrão de Lanceiros do Funchal.

Como projecto de ocupação dos espaços disponibilizados, o Governo Regional da Região Autónoma da Madeira, resolveu instalar o Museu de Arte Contemporânea num espaço militar. O Museu de Arte Contemporânea apresenta uma colecção de arte contemporânea portuguesa desde os anos 60 até aos dias de hoje, com obras de alguns dos mais significativos artistas nacionais.



Fig. 4.9 Museu de Arte Contemporânea, antigo Forte de S. Tiago



Fig. 4.10 Arco da porta de entrada do Museu de Arte Contemporânea, antigo Forte de S. Tiago

O Museu é constituído por cantaria de origem vulcânica, tratando-se de tufos de lapilli, brecha e basalto, apresentando desta forma uma mistura de cantaria mole e rígida (Monumentos, 2012).



## 4.5 Sé do Funchal

A Sé Catedral do Funchal é um monumento grandioso situada no centro histórico da capital do Arquipélago da Madeira, tratando-se da mais emblemática e diversificada obra do período Manuelino na Ilha da Madeira, teve lugar sobre depósitos aluvionares pouco coesos (Silva, 2004) Os trabalhos de projecção e construção iniciaram-se em 1493, sendo concluídos em 1514, sobre os intentos de Pero Annes e Gil Enes.

Possui uma arquitectura religiosa, manuelina, mudéjar, maneirista, barroca, rococó e revivalista, neo-gótica.

A Sé do Funchal é composta por várias capelas de épocas distintas: da Nossa Senhora dos Varadouros, da Nossa Senhora de Lourdes, as Laterais, o Altar Mor, o Altar do Santíssimo, o Altar de Santo António, a Pia Baptismal, a Sacristia e a Confraria do Santíssimo. A planta é em cruz latina de três naves escalonadas, de transepto saliente e tecto de madeira, em algumas zonas em estilo mudéjar muito trabalhado, considerado dos mais importantes existentes no nosso país.

A Torre Sineira destaca-se do conjunto exterior, pela sua majestosa beleza, tendo sido terminada por volta de 1518. A Sé apresenta um interior rico, com diversas obras de escultura e pintura, destacando-se os vários pormenores decorativos do templo, como os assentos e apoios de braços, onde estão retratadas cenas da vida Madeirense. Possui também uma cruz processional oferecida pelo Rei D. Manuel I, considerada uma das obras-primas da ourivesaria Manuelina, e o Cadeiral que se conserva no seu local de origem. O órgão Romântico, os retábulos de São Francisco de Xavier e a rica azulejaria decorativa são outros elementos que opulentam este grandioso Monumento, classificado em 1910 em Monumento Nacional.



**Fig. 4.11** Fachada principal da Sé do Funchal



**Fig. 4.12** Alçado norte da Torre sineira da Sé do Funchal



**Fig. 4.13** Pormenor do revestimento das argamassas sobre a pedra natural da torre sineira da Sé do Funchal



**Fig. 4.14** Revestimento de argamassas no pano de parede da escada de caracol que dá acesso à torre sineira da Sé do Funchal

A Sé é constituída por cantarias rijas e moles. No grupo das cantarias rijas temos o traquibasalto, tefrito, e o traquito, que vão desde a tonalidade cinzenta até ao branco sujo. No grupo das cantarias moles apresenta-se-nos o tufo de lapilli, brecha, e brecha piroclástica. As cantarias de tonalidade vermelha provêm do Cabo Girão. É também composta por, basalto, bronze, madeira (cedro branco da ilha, carvalho, til, exóticas do Brasil, pinho de Riga), ferro (tirantes), gesso, azulejos, vidro, telhas, tijoleira e betão (Monumentos, 2012).

## 4.6 Forte de São José

O forte ergue-se numa extremidade do porto, sobre a formação rochosa conhecida como ilhéu de São José. Este ilhéu serviu como refúgio para os descobridores da Ilha da Madeira, João Gonçalves Zarco e Tristão Vaz Teixeira, que em 1419 entraram na ilha, e nele se esconderam sem saber o que iriam encontrar. Desse tempo ficaram uns degraus esculpidos na rocha, assim como o triângulo onde os navegadores prendiam os seus barcos, que durante muitos anos serviu de porto para as embarcações de açúcar, vinho e carvão, entre outros, daí se pensar ser a mais antiga fortificação do arquipélago.

O forte foi erguido no contexto das obras do porto do Funchal, em meados do século XVIII, com a chegada do Engenheiro Francesco Tosi Colombina. Suspeita-se que o Engenheiro Colombina tenha tido a colaboração do Capitão de Engenheiros Domingos Rodrigues Moniz, que foi nomeado Mestre das Obras Reais na Madeira por Provisão-Régia em Janeiro de 1760.

Posteriormente foi feita uma ligação do ilhéu à ilha, passando o ilhéu a chamar-se também Forte ou Bateria da Pontinha, por estar situado na extremidade do porto. Esta ligação ainda é visitável actualmente pelo Caminho Real, um dos mais antigos da ilha.

Este forte serviu como quartel aos britânicos e, posteriormente, de cadeia, aquando da guerra peninsular.

O ilhéu do forte encontra-se coberto por pedras soltas, excepto na vertente Sudoeste, onde se encontra uma parede de rocha natural, que se estende até ao mar. No exterior do forte restam poucos elementos da arquitectura original, no seu interior verificam-se alguns vestígios da mesma.

A edificação era pouco valorizada enquanto património histórico, arquitectónico e cultural da Madeira até ter sido adquirido por um particular que iniciou uma campanha para a pesquisa, recuperação, revalorização e requalificação do património representado pelo forte a nível municipal e nacional (Monumentos, 2012).



Fig. 4.15 Forte de São José nos séculos XVI/XVII



Fig. 4.16 Forte de São José, Principado da Pontinha em 2012

## 4.7 Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade

A Igreja Matriz da Nossa Senhora da Piedade é um templo católico onde predomina uma arquitectura maneirista e rococó, construída no século XVI composta por uma única nave e uma capela-mor mais baixa e estreita. Junto à fachada encontra-se uma torre sineira e uma sacristia. A capela-mor é coberta por um tecto curvo em madeira, apresentando pinturas rocaille policromadas de motivos geometrizes, fitomórficos e rótulos, sobre fundo branco. No centro do camarim existe uma pintura que narra o aparecimento de Cristo a Maria Madalena. O que apresenta de mais majestoso é a torre sineira, que possui cunhais de cantaria negra rematados por pináculos e cobertura piramidal truncada, tendo por cima um catavento de ferro. A linha da cimalha é interrompida por quatro relógios. Foi várias vezes incendiada por piratas e corsários tendo sido totalmente reconstruída a partir de 1667. Actualmente possui no seu interior belíssimos altares e telas, da autoria de Martim Conrado e Max Romer (Monumentos, 2012).



**Fig. 4.17 Igreja Matriz da Nossa Senhora da Piedade, Porto Santo**



**Fig. 4.18 Torre Sineira da Igreja Matriz da Nossa Senhora da Piedade, Porto Santo**

#### **4.8 Forno da Cal do Calhau da Serra de Fora**

O revestimento dos edifícios em estudo eram feitos através da mistura de cal viva com ocre, sebo e água. Como sebo era utilizado óleo dos açores, óleo de peixe, ou óleo de baleia. O sebo tem como função servir de ligante, e impermeabilizante.

A cal viva resulta da calcinação de pedras calcárias. As pedras calcárias são colocadas num forno adequado, e estão a cozer aproximadamente dois dias, depois retira-se do forno e coloca-se num terreiro coberto onde se adiciona água fria, assim a pedra de cal incha, estala e transforma-se em pó. Estes fornos caracterizam-se por serem, em norma, construções em alvenaria local, de planta quadrada ou rectangular, com a estrutura em forma de cone invertido, cujo diâmetro vai diminuindo ligeiramente da base para o topo. O forno da cal que iremos estudar é construído por cantaria mole, cujas características refractárias permitem uma melhor resistência ao calor e uma melhor conservação da temperatura (Mestre, 2002).



**Fig. 4.19 Forno da Cal localizada no Porto dos Frades, Calhau da Serra de Fora**

#### **4.9 Nora da Lagoa**

No arquipélago da Madeira os aquíferos subterrâneos constituem uma fonte de abastecimento de água, sendo suficientes para garantir as necessidades de consumo. A Nora da Lagoa é um engenho para retirar água de um poço.










**Fig. 4.20 Nora da Lagoa, localizada no sítio na Lagoa, Porto Santo**

## 5 Amostragem



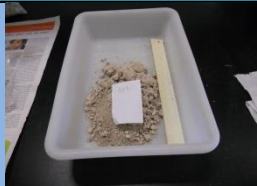





Foi efectuada amostragem nos edifícios e monumentos acima referidos, a fim de ser efectuado um estudo dos mesmos.


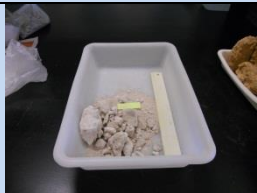

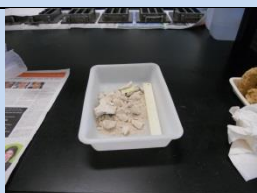


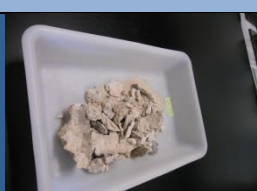
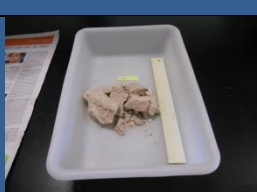
Tabela 5.1 Listagem de amostras recolhidas

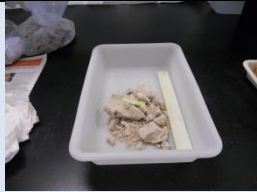

<i>Edifício</i>	<i>Designação</i>	<i>Descrição</i>	<i>Registo Fotográfico</i>
Fortaleza Palácio de S. Lourenço, Funchal	SL1 A	Torreão, Sala Matacão. Lado direito.	
	SL1 B	Torreão, Sala Matacão. Lado esquerdo.	
	SL2	Parede do Século XVIII/XIX.	
	SL3	Parede porta da saída.	
Forte de S. Tiago, Funchal	ST1	Porta.	
	ST2	Arco	
	ST3	Argamassa de junta do Túnel.	

	ST4	Túnel Interior.	
	ST5	Túnel interior junto à porta. Caiada.	
Sé, Funchal	SE1	Torre sineira.	
	SE2	Junta. Escadas da torre sineira. Zona superior.	
	SE3	Junta. Escadas da torre sineira. Junto à casa dos sinos.	
	SE4	Entrada entre degraus 46, 47.	
	SE5	Entrada, degraus da parte inferior.	
Mosteiro e Convento de Santa Clara, Funchal	SC1	Torre sineira. Revestimento Interior	



	SC2	Torre sineira. Revestimento exterior. Almofada sobre pedra.	
	SC3	Coro baixo. Sala Lateral. Junta.	
Forte S. José, Funchal	SJ1	Zona interior, perto da porta.	
	SJ2 A	Zona interior da abóbada da capela. Reboco.	
	SJ2 B	Zona interior da abóbada da capela. Junta.	
	SJ3	Junta do arco da entrada.	
	SJ4	Abóbada. Entrada direita com fingidos.	
	SJ5	Reboco da gruta.	

Casa de Salão, Porto Santo Núcleo das Casas das Eiras	CS1	Reboco exterior.	
	CS2	Argamassa da junta exterior.	
	CS3	Salão.	
	CS4	Revestimento interior.	
Matérias-Primas	PSC	Calcoarenitos	
Forno da Cal, Calhau da Serra de Fora	FC1	Argamassa da junta, parede exterior.	
Nora da Lagoa	N1	Revestimento exterior.	
	N2	Argamassa da junta.	

Igreja Matriz, Nossa Sra. Da Piedade	NSP1	Argamassa da junta, torre sineira.	
	NSP2	Argamassa reboco, torre sineira.	

## 6 Métodos e técnicas analíticas

A fim de ser realizada uma caracterização dos materiais de revestimento e enchimento utilizados na construção tradicional das ilhas da Madeira e Porto Santo foi necessário fazer um estudo recorrendo a métodos que permitem a caracterização química e mineralógica das amostras recolhidas. As propriedades físicas dos minerais resultam da sua composição química e das suas características estruturais. As propriedades físicas mais óbvias e mais facilmente comparáveis são as mais utilizadas na identificação de um mineral. Na maioria das vezes, essas propriedades, e a utilização de tabelas adequadas, são suficientes para uma correcta identificação. Quando tal não é possível, ou quando um elevado grau de ambiguidade persiste, a identificação é realizada a partir da análise química, por difracção de raios X ou outros métodos.

Para tal utilizaram-se as seguintes técnicas analíticas:

- Difracção Raio X;
- Fluorescência de Raio X;
- Perda ao Rubro;
- Condutividade;
- Dissolução ácida;
- Capilaridade;
- Resistência mecânica.

Foram divididas as amostras em grupos de acordo com a sua quantidade e tamanho para podermos efectuar os ensaios referidos anteriormente, da seguinte forma:

- Amostras pequenas (DRX, FRX, Perda ao Rubro, Dissolução Ácida);
- Amostras intermédias (DRX, FRX, Perda ao Rubro, Condutividade);
- Amostras grandes (DRX, FRX, Perda ao Rubro, Resistência Mecânica e Capilaridade);

### 6.1 Difracção Raio X

A difracção de raios X possibilita a identificação dos minerais existentes no material em estudo. O equipamento de difracção de raios X é constituído por um tubo emissor de raios X, uma

câmara circular onde se coloca a amostra e um receptor dos raios difractados. Esta técnica fornece informações mais amplas, precisas e detalhadas quanto à quantificação dos minerais presentes.,

Este ensaio consiste em fazer incidir um feixe de raios X (de comprimento de onda conhecido) sobre a amostra. Como consequência, o feixe difracta e reflecte com ângulos que são característicos do retículo cristalino, obtendo-se assim o respectivo difractograma.

Este método de análise permite que os ângulos dos feixes resultantes da difracção sejam lidos pelo equipamento e processados por computador, que calcula e mostra as prováveis configurações dos átomos no mineral.

Este método permite-nos obter a composição mineralógica da amostra. Todas as amostras foram previamente moídas e sujeitas a este método.



Fig. 6.1 Difractómetro existente no laboratório do departamento de geociências, UA.

## 6.2 Fluorescência Raio X

Esta técnica permite determinar a composição química, e a percentagem de elementos químicos na amostra. Trata-se de método simples, rápido e preciso. Esta técnica é complementar à DRX.

Este método consiste na absorção fotoelétrica, todos os elementos químicos presentes na amostra são excitados por um feixe policromático de raios X primários com determinadas energias, emitindo radiações secundárias ou de fluorescência. Estas radiações são dispersas por cristais analisadores ou dispersores de modo que as radiações secundárias dos elementos possam ser resolvidas e depois captadas por detectores dos tipos: proporcional e cintilações. Por fim, é necessário estabelecer a correlação das intensidades medidas com os teores dos elementos químicos presentes.



**Fig. 6.2** Equipamento de FRX existente no laboratório do departamento de geociências, UA

### **6.3 Perda ao rubro**

A Perda ao Rubro é expressa em percentagem, considerando o peso perdido da amostra depois de a mesma ter estado numa mufla a 1000°C, aproximadamente 3 horas, comparando o peso da amostra calcinada com o da amostra previamente seca.

Este método permite-nos obter a percentagem de voláteis nas amostras.

### **6.4 Condutividade**

Este tipo de ensaio é realizado recorrendo a um equipamento denominado condutivímetro que se coloca dentro da amostra moída, que está em imersão permitindo assim fazer uma avaliação da quantidade de sais solúveis.

Fez-se uma medição da condutividade para três relações (quantidade de amostra/quantidade de água) distintas a fim de verificarmos qual a mais adequada a realizar neste trabalho, e obtermos o tempo de extração. A amostra utilizada era também proveniente da Ilha da Madeira, do Palácio Fortaleza de S. Lourenço, tendo sido usada num trabalho anterior. Com a informação obtida através da amostra anterior, colocamos 5 gr de amostra em 50 ml de água destilada e após estas ficarem emersas em água 24h procedemos à medição.

Este procedimento foi realizado de acordo com a norma portuguesa NP EN 772-5 e a norma inglesa BSI 3921:1985.

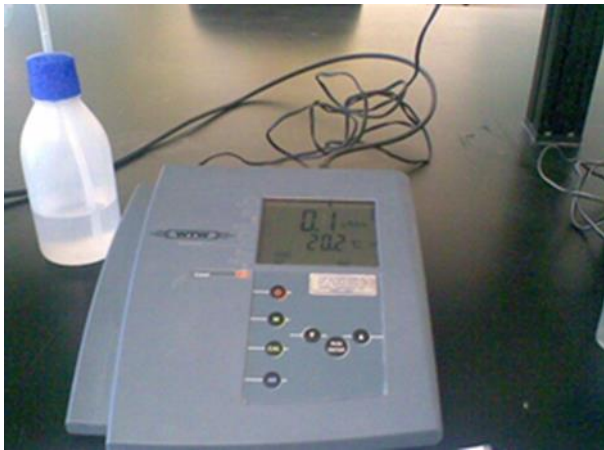


Fig. 6.3 Conduvímeter



Fig. 6.4 Medição da condutividade

## 6.5 Dissolução ácida

Este ensaio visa a caracterização das argamassas mais antigas, de forma a testar a reacção de uma argamassa endurecida com ácido, provocando assim a dissociação de alguns componentes existentes na mesma, para posteriormente se proceder ao cálculo da percentagem de resíduo insolúvel.

O ácido clorídrico é dissolvido em água, em iguais quantidades. Foram previamente moídas 50 gr de cada amostra e colocadas num copo de vidro, onde se juntou, pouco a pouco, 100ml de ácido clorídrico diluído (1:1) mantendo uma efervescência controlada. Ferveu durante aproximadamente 2 minutos, e deixou-se repousar. Esta mistura foi filtrada, colocando posteriormente o filtro com o resíduo, dentro de uma porcelana, a 100 ou 110°C durante uns dias. O resíduo insolúvel é calculado da seguinte forma:

$$\% \text{ Resíduo Insolúvel} = \frac{m_r - m_o}{m_a} \times 100$$

Onde:

$m_r$  – Massa do filtro em resíduo (gr)

$m_o$  – Massa do filtro (gr)

$m_a$  – Massa de amostra (gr)

Obtendo-se a percentagem de resíduo insolúvel consegue-se consequentemente obter a percentagem de ligante.



Fig. 6.5 Hotte com os equipamentos e reagentes existentes na realização da dissolução ácida



Fig. 6.6 Estufa utilizada no ensaio das amostras que sofreram dissolução ácida



Fig. 6.7 Aspecto da amostra com a referência CS4 (Casas de Salão) acabada de ser retirada da estufa

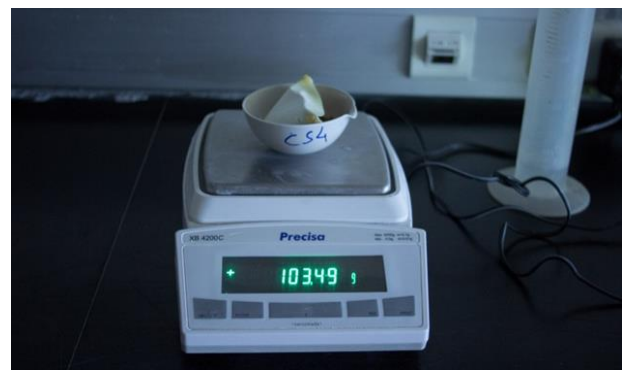


Fig. 6.8 Pesagem da amostra com a referência CS4 (Casas de Salão) para cálculo de percentagem de ligantes e de agregados

## 6.6 Capilaridade

Os revestimentos de argamassa têm como principal função, entre outras, a capacidade de impermeabilização, principalmente se estão no exterior dos edifícios. Este fenómeno é compreendido através do estudo da movimentação de água pelos capilares do revestimento de argamassa, utilizando o coeficiente de capilaridade.

Esta característica tem grande importância na definição da qualidade da argamassa., uma vez que a água absorvida por capilaridade vai contribuir para um mau desempenho da mesma. Pois esta característica influencia a durabilidade da argamassa e a sua capacidade de suporte.

A capilaridade entende-se como a capacidade que uma argamassa tem de absorver água, de forma natural, sem se exercer pressão.

As amostras foram lixadas para remover a matéria orgânica e sujidade, tendo sempre o cuidado de se manter o tamanho original. Com o auxílio de um papel milimétrico foi medida a área de cada amostra. Este ensaio consistiu na colocação das amostras em água de 30 em 30 segundos e



após se verificar que o peso se mantinha, as amostras foram retiradas da água e foram realizadas medições após 1, 24, 72, 96 e 168 horas.

A quantidade de absorção de água depende da área da amostra em contacto com a água, e do tempo. Por vezes é usado um geotêxtil dentro de um cesto, onde se coloca amostra, pois algumas amostras em contacto com a água tendem a desfazer-se, e consequentemente perder peso.

Com os valores registados foi possível obter o coeficiente de capilaridade, de acordo uma regressão linear obtida com os valores do tempo ( $\text{min}^{1/2}$ ) e da absorção de água ( $\text{kg/m}^2$ ) no período em que se verifica um aumento do peso da amostra.



Fig. 6.9 Conjunto de Amostras que foram preparadas para a realização do ensaio de capilaridade



Fig. 6.10 Geotêxtil e um cesto utilizados de medição de absorção de água

## 6.7 Resistência mecânica

A resistência mecânica é entendida como a força resultante da aplicação de uma força sobre um material ocorrendo uma dissipação de energia, sofrendo desta forma uma deformação, e quanto menos espaços vazios existirem no mesmo, maior será a sua resistência mecânica.

Este ensaio indica-nos a capacidade que as argamassas têm de resistir a alguns agentes que actuam internamente, como os choques ou as intempéries, sem apresentar danos ao longo do tempo.

A resistência mecânica das argamassas está relacionada com a sua composição, o tipo de ligante e com as condições de cura da mesma.

A resistência mecânica das argamassas está associada ao seu módulo de elasticidade, condicionando desta forma a trabalhabilidade e a resistência à deformação do próprio revestimento ou enchimento. Sendo que quanto maior for o módulo de elasticidade, maior será a sua capacidade às agressões externas e consequentemente maior será a resistência às tensões provocadas entre o revestimento e o suporte que ocorrem no processo de secagem, e retracção do material.

As amostras foram previamente preparadas em provetes com um traço de argamassa:cimento de 1:3, com areia passada no peneiro de 0,3mm, e com um traço de argamassa:cal de 1:9 com areia passada no peneiro 0,425mm e tiveram um tempo de cura de 15 dias.

Este confinamento foi executado devido à variabilidade das amostras, dando-lhe uma forma regular e mais resistência.

As amostras CS1, NSP1, ST1, PSC, SE1, SC2 tinham mais uma camada da mistura referida anteriormente do que as restantes. Colocaram-se os provetes, individualmente, no prato inferior da máquina, posteriormente é colocado um prato superior da máquina em contacto com a face superior do provete, e aplica-se uma força que cresce gradualmente até à rotura do provete.

O equipamento utilizado é uma máquina universal de ensaios da marca Shimadzu, modelo AG-IC 100 KN, com uma célula de carga de 5 KN, e uma velocidade de 50N/s. No entanto em 3 amostras o ensaio foi realizado com uma célula de carga de 100 KN. Este ensaio foi realizado de acordo com a EN 1015-11.

A resistência à compressão é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{Tensão} = \frac{F}{A}$$

Onde:

Tensão – Resistência à compressão (N/mm<sup>2</sup>)

F – Carga máxima na rotura (N)

A – Área da secção transversal do provete na qual a força foi aplicada (mm<sup>2</sup>)

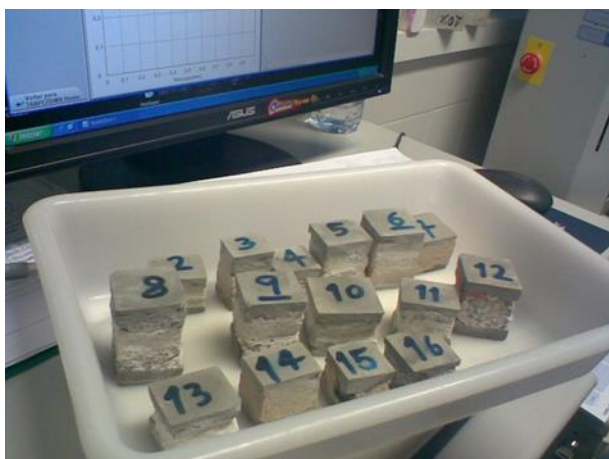


Fig. 6.11 Conjunto de Provetes preparados a partir das amostras numeradas de 1 a 16, para o ensaio de resistência mecânica



Fig. 6.12 Pormenor do provete da amostra com a referência 2, para ensaiar tendo em vista a sua resistência mecânica



**Fig. 6.13** Equipamento utilizado na medição da resistência mecânica dos provetes

## 7 Resultados obtidos e sua interpretação

Neste capítulo apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios referidos anteriormente.

### 7.1 Difraccção Raio X

De acordo com a análise mineralógica pode-se concluir que as amostras são muito ricas em sais.

As amostras das argamassas analisadas são essencialmente carbonatadas, sendo a calcite o mineral com maior percentagem em quase todas as amostras, o que é espectável devido à existência de cal aérea nas amostras.

A amostra com a referência CS2 (Casas de Salão) tem a alunite como mineral predominante.

A amostra com a referência SC3 (Mosteiro e Convento de Santa Clara) e a SL2 (Palácio e Fortaleza de S. Lourenço) apresentam o feldspato como mineral em maior percentagem.

A amostra com a referência SJ3 (Forte de S. José) tem como mineral predominante a olivina, por sua vez a amostra com a referência ST5 (Forte de S. Tiago) apresenta a piroxena como mineral predominante.

O quartzo, a calcite e a olivina são comuns a todas as amostras. De seguida os feldspatos, hematite e a anidrite estão presentes em quase todas as amostras.

A existência de halite em algumas amostras denuncia a existência de sais nas mesmas, algo normal, pois os edifícios em estudo localizam-me muito perto do mar, e as que apresentam maior valor são amostras retiradas do exterior dos edifícios.

As amostras da ilha da Madeira quando comparadas com as amostras da ilha de Porto Santo, são em norma mais abundantes em olivinas, plagióclases e opala.

A presença de nahcolite nas amostras reflecte a existência de poluição atmosférica na ilha da Madeira, originada provavelmente pela exposição das mesmas ao tráfego.

Foram encontrados nas amostras sais como o gesso, bassanite, anidrite e halite, sendo que estes estão associados à poluição atmosférica, à exposição marítima e podendo ter origem em alguns materiais de construção.

A existência de thenardite nas amostras comprova que a ocorreu uma alteração das mesmas.

Os restantes minerais ocorrem em apenas algumas amostras como consta a tabela 7.1.

A mullite foi determinada presente apenas em algumas amostras sendo este mineral formado a altas temperaturas superiores a 1100°C, indicando que a forma de fabrico foi mais avançada, logo não se tratam de argamassas originais.

Tabela 7.1 Minerais existentes nas amostras

Amostra	Alunite	Anatase	Anidrite	Barite	Bassanite	Brookite	Calcite	Dolomite	Feldspato	Gesso	Halite	Hematite	Jarosite	Magnetite	Melanterite	Mica	Mullite	Nahcolite	Olivina	Opala	Pirite	Piroxena	Plagioclases	Quartzo	Thenardite	
CS1	xxxx		xxx				xxxxx		xx	xx	x	xx		xx				xx	xx	x	x			xx		
CS2	xxxxx		xxx				xxxx		xx			xxx		xx	xxx				xx	xx	x				xx	
CS3							xxxxx		xxx	x			x	xx	xx				xx	xx			xxx	xxx	xx	
CS4	xxxx		xxx				xxxxx		xx	xx	xx	xx		xx	xx				xx	x	x			xx	x	
FC1	xxx	x	xx			xx	xxxxx		xxxx		xxx	x	x	xx		x		xx	xx	xx				xx	xx	
N1	xxxx		xx				xxxxx		x		x	xx		xx					xx	xx		xxxx		xx	x	
N2	xxxx		xxx				xxxxx		xx	xx		xx	x	xx					xx	xx	x			xx	xx	
NSP1	xxxx		xxx				xxxxx		xxx	xx	x	xx		xx					xx	x				xxx		
NSP2	xxxx		xxx			xxx	xxxxx		xxx	xx	xx	xx	xx	xxx	xx	x		xx	xxx	xx	x			xxx	xx	
PSC							xxxxx		xx	x		x		xx					x		x			xx		
SC1	xx	x	xx			x	xxxxx		x		x	x	x	xx			x	xx	xx	x	x		xxx	xx	x	
SC2	xxx	x	xx			xx	xxxxx		xx	x	xx	xx		xx				xx	x	xxx	x		xxxx	xx	xxx	
SC3	xxxx	x	x			xx	xxxx		xxxxx			xx			xxxx	x	xxx	xxxx	xxxx	xx			xx	xx	xxx	
SE1	xx		xx			x	xxxxx		xxx	x	x	x	x	xx			x	xx	xx	x	x			xx	x	
SE2	xxxx		xx	x		xx	xxxxx		xxxx	x	xx	x	x	xx				xxx	xxxx	xx	x		x	xx	xxx	
SE3	x	x	xx				xxxxx	x	x			x				x			x	x	x			xx	x	
SE4				x		xx	xxxxx		xxx	x	x	x	x	xx			x	xxx	xxx	x	x	xxx		xx	xx	
SE5	xxxx	xx	xx				xxxxx	xx	xxxx		x	xxx	x	xx		x	x	xxx	xx	x	x		x	xxx	xx	
SJ1	xxx		x			x	xxxxx		x	x	x	x	x	xx				xx	xx	x	x		x	xxx	x	
SJ2 A			xx				xxxxx			x	x	x		xx					xx		x			xx		
SJ2 B	xx	x	xx				xxxxx		xx	x		x	x	xx		x	x	x	xx	x			xx	xx	x	
SJ3		x			xxxx		x		x			x	xx	xx					xxxxx					xxx		
SJ4	x	x	xxx				xxxxx		xx	x	x	x	x	xxx				x	xx	x	x		x	xxx	x	
SJ5	xxx	x	xx			x	xxxxx		x		x	xxx	x	xx		x	xxx	xx	x	x	xx			xx	xx	
SL1 A	xx	x	xx			x	xxxxx		xx			xx		xx			x		xx	x	x			xx	xx	
SL1 B	xxx		xx				xxxxx	x	xx	x				xx				xx	xx	x	x		x	xx	x	
SL2			x				xx		xxxxx			x		x				xxx	xxx	xxx	x		xxx	xx	xxxx	
SL3	xxxx	x	xx	xx		xx	xxxxx		xxxx	x	xxx			xx		x	xx	xxx	xxx	xx	x		x	xx	xxx	
ST1	xxxx	x	xx			xx	xxxxx		xxxx	x	xx		x			x	x	xxx	xxx	xx	x		xx	xx		
ST2	xxx		xx			xx	xxxxx		xxx	x	x	x	x				x	xx	xxx		x			xxx	xx	
ST3	xxx		xx			x	xxxxx		xxx	x	xxx	x	x	xx			xx	x	xxx	xxx	x	x		xx	xx	
ST4		x	xxx			xx	xxxxx		xxxx	xx	xx	x		x		xxx	xx	xxx	xxx	xx	x		x	xx	xx	
ST5		x	xx			xx	xxxx		xxx		x	xx		xx			xx	xx	xx	x	xx	xxxx	x	xx	xx	

## 7.2 Fluorescência Raio X e Perda ao rubro

A seguinte tabela apresenta os valores obtidos na Fluorescência RX e Perda ao Rubro.

Tabela 7.2 Percentagem de L.O.I. nas amostras

Amostra	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Cl (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	F (%)	L.O.I. (%)
CS1	9,47	2,59	2,28	0,44	3,43	<b>44</b>	0,55	0,14	0,57	0,07	0,23	×	35,95
CS2	8,94	2,5	2,34	0,46	3,29	<b>45,58</b>	0,68	×	0,55	0,28	0,26	×	34,85
CS3	<b>35,74</b>	9,71	4,81	0,3	4,62	17,4	1,5	0,77	0,96	1,06	0,73	0,23	21,97
CS4	10,33	2,68	1,87	0,53	3,67	<b>42,83</b>	0,44	0,16	0,43	0,03	0,23	×	36,54
FC1	<b>25,34</b>	8,55	7,44	0,87	3,33	24,38	7,72	0,62	1,68	4,57	0,66	×	14,52
N1	9,27	3,1	1,49	0,47	3,55	<b>40,21</b>	0,77	0,17	0,39	0,34	0,26	×	39,75
N2	11,8	3,67	1,83	0,91	3,77	<b>38,72</b>	1,26	0,3	0,44	0,37	0,37	×	36,25
NSP1	8,64	2,7	2,34	1,92	2,8	<b>42,79</b>	0,86	0,27	0,59	0,41	0,27	×	36,12
NSP2	16,83	5,84	4,61	1,1	2,63	<b>35,55</b>	1,61	0,53	1,19	0,63	0,36	×	28,85
PSC	2,54	0,73	0,64	0,36	2,62	<b>49,27</b>	0,29	0,04	0,13	0,08	0,11	×	<b>43,03</b>
SC1	23,59	9,24	8,89	0,99	3,75	<b>33,16</b>	2,26	0,63	1,67	0,89	0,65	×	14
SC2	<b>32,57</b>	11,87	11,42	0,21	4,53	25,63	1,42	0,59	2,21	0,05	0,87	×	8,26
SC3	<b>37,16</b>	14,42	12,53	0,13	5,64	16,54	1,99	0,77	2,38	0,46	0,88	×	6,72
SE1	22,63	8,76	9,36	×	3,56	<b>35,14</b>	1,09	0,49	1,71	0,07	0,69	×	16,16
SE2	<b>34,45</b>	13,02	10,46	0,57	4,61	18,57	2,87	0,82	2,1	0,9	0,92	×	10,39
SE3	20,02	6,82	9,64	0,62	3,2	<b>39,48</b>	1,25	0,46	1,7	0,54	0,42	×	15,51
SE4	<b>29,23</b>	11,05	10,76	0,39	4,3	25,85	1,67	0,64	2,03	0,6	0,8	×	12,33
SE5	<b>31,64</b>	12,39	10,52	0,8	4,12	22,05	2,27	0,86	2,08	0,83	0,9	×	11,2
SJ1	26,78	8,2	9,97	0,37	5,09	<b>29,89</b>	1,57	0,58	1,75	0,06	0,5	×	14,85
SJ2 A	3,97	1,25	1,45	5,09	1,11	<b>48,38</b>	1,45	0,08	0,26	0,19	0,32	×	36,29
SJ2 B	18,97	5,62	7,3	3,49	3,29	<b>36,48</b>	1,79	0,31	1,36	0,15	0,38	×	20,52
SJ3	10,22	2,92	4,3	0,66	1,19	13,12	<b>26,64</b>	0,65	0,66	20,07	0,16	×	19,24
SJ4	16,35	5,41	6,25	2,85	1,96	<b>30,48</b>	9,62	0,52	1,12	6,08	0,3	×	18,77
SJ5	<b>30,55</b>	9,48	10,57	1,9	5,51	25,07	2,05	0,55	2,04	0,97	0,5	×	10,48
SL1 A	21,18	7,52	8,48	1,15	3,03	<b>35,75</b>	1,32	0,64	1,58	0,08	0,77	×	18,2
SL1 B	25,1	8,38	10,95	0,22	3,98	<b>34,89</b>	1,15	0,68	1,93	0,06	0,7	×	11,58
SL2	<b>51,23</b>	15,89	12,04	0,06	3,74	7,55	2,3	0,61	2,76	0,07	0,56	×	<b>2,78</b>
SL3	<b>32,06</b>	11,7	9,91	0,53	4,48	22,52	3,48	0,68	1,99	1,37	0,81	×	10,17
ST1	<b>32,36</b>	12,38	10,43	0,78	5,84	21,12	2,51	0,68	2,04	0,55	0,82	×	10,18
ST2	<b>29,96</b>	11,37	8,76	0,87	4,04	24,74	2,2	0,85	1,67	0,62	0,7	×	13,93
ST3	<b>30,94</b>	11,76	9,16	0,33	4,31	21,13	4,53	0,45	1,9	2,75	0,51	×	11,96
ST4	<b>36,03</b>	13,96	12,15	0,45	5,87	17,72	2,02	0,63	2,13	0,25	0,86	×	7,59
ST5	<b>29,79</b>	11,37	10,77	1,46	3,67	25,1	2,25	0,59	1,88	0,83	0,67	×	11,3

Há claras distinções na composição das amostras retiradas do mesmo edifício, revelando a existência de actos de conservação e restauro dos mesmos.

Podemos constatar que a amostra que apresenta maior percentagem de perda ao rubro, isto é, uma maior percentagem de voláteis, apresenta o CaO como sendo o elemento predominante, sendo neste caso a amostra PSC (matérias-primas). A amostra SL2 (Palácio e Fortaleza de S. Lourenço) apresenta o SiO<sub>2</sub> como o elemento predominante possuindo assim uma menor percentagem de voláteis.

Isto é, quanto maior for a perda ao rubro da amostra esta tem uma maior percentagem de CaO, e quanto menor for a perda ao rubro maior a percentagem de SiO<sub>2</sub> na amostra. As amostras que têm

maior percentagem de  $\text{SiO}_2$  podem revelar ser argamassas de cal hidráulica, enquanto que as que apresentam maior percentagem de  $\text{CaO}$  serão provavelmente argamassas de cal aérea.

#### Casas de Salão

As amostras retiradas do Núcleo das Casas do Curral, em Porto Santo, apresentam na sua maioria o  $\text{CaO}$  como elemento predominante, com valores muito aproximados, e baixo conteúdo em sílica. Somente na amostra CS3, que é do próprio salão e não de uma argamassa, predomina o  $\text{SiO}_2$ . A amostra CS3 é a única que apresenta F, embora numa quantidade muito reduzida. A amostra CS3 é a que apresenta maiores valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . A amostra CS2 não apresenta  $\text{K}_2\text{O}$ , ao contrário das restantes amostras.

#### Forno da Cal

A amostra FC1, retirada do Forno da Cal é, de todas as analisadas, a que apresenta um valor em percentagem de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{CaO}$  muito semelhante. O teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  é também muito idêntico, assumindo valores elevados quando comparados com as restantes amostras.

#### Nora da Lagoa

As amostras retiradas da Nora da Lagoa apresentam  $\text{CaO}$  como elemento predominante, sendo que a amostra que apresenta menor percentagem de  $\text{CaO}$  é aquela que apresenta uma percentagem de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  maior.

#### Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade

As amostras retiradas da Igreja Matriz apresentam  $\text{CaO}$  como o elemento com maior percentagem., sugerindo a utilização de argamassas de cal aérea. A amostra NSP2 apresenta um valor de  $\text{SiO}_2$  superior, assim como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Os valores de  $\text{MgO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  são muito semelhantes nas duas amostras.

#### Mosteiro e Convento de Santa Clara

As amostras recolhidas do Convento de Santa Clara apresentam na sua maioria  $\text{SiO}_2$  como elemento predominante, apenas a amostra CS1 tem maior percentagem de  $\text{CaO}$ . A amostra SC3 é a amostra, de um modo geral, que tem maior percentagem de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , tendo também grande percentagem de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . Estas amostras têm elevado conteúdo em alumina e ferro, tratando-se provavelmente de argamassas efectuadas com um ligante hidráulico numa intervenção de reabilitação/manutenção.

#### Sé do Funchal

A Sé do Funchal apresenta amostras divididas, as amostras SE1 e SE3 apresentam maior percentagem de  $\text{CaO}$ , enquanto as amostras SE2, SE4 e SE5 apresentam maior teor de  $\text{SiO}_2$ . Sendo

assim, para além das argamassas originais verifica-se a existência da utilização de argamassas de reparação em acções de conservação do edifício.

As amostras SE2, SE4, e SE5 apresentam maior percentagem de  $\text{AlO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , sendo que a que apresenta maior valor de todos estes componentes é SE2.

#### Forte de S. José

As amostras extraídas do Forte de S. José apresentam na sua maioria maior percentagem de  $\text{CaO}$ , excepto a amostra SJ3 que apresenta o  $\text{Na}_2\text{O}$  como elemento predominante possivelmente devido ao elevado teor de sais na amostra, e a amostra SJ5 que tem como elemento de maior percentagem o  $\text{SiO}_2$ . A amostra mais rica em  $\text{SiO}_2$  é também mais rica em  $\text{AlO}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sendo que a amostra SJ4 apresentam um valor de  $\text{Na}_2\text{O}$  relativamente elevado quando comparado com as restantes.

#### Fortaleza Palácio de S. Lourenço

A Fortaleza Palácio de S. Lourenço apresenta amostras divididas relativamente aos elementos preponderantes, as amostras SL1A e SL2A apresentam maior percentagem de  $\text{CaO}$ , e as amostras SL2 e SL3 apresentam  $\text{SiO}_2$  como elemento preponderante. Desta forma verifica-se que embora originalmente tivessem sido utilizadas na fortaleza argamassas de cal aérea, em reparações posteriores provavelmente foram utilizadas argamassas hidráulicas. As amostras SL2 e SL3 apresentam maiores valores de  $\text{AlO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . A amostra SL2 é a amostra na generalidade a mais rica em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  e a que apresenta menor perda ao rubro.

#### Forte de S. Tiago

As amostras recolhidas do Forte de São Tiago apresentam  $\text{SiO}_2$  como o elemento mais predominante, apresentando valores muito semelhantes, sugerindo a utilização da mesma argamassa, de cariz hidráulico. Todavia a amostra ST4 é a que apresenta maior percentagem de  $\text{SiO}_2$  e consequentemente maior percentagem de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$ . A amostra que tem maior percentagem de  $\text{Na}_2\text{O}$  é a ST3.

O seguinte gráfico ilustra os valores da perda ao rubro das amostras.



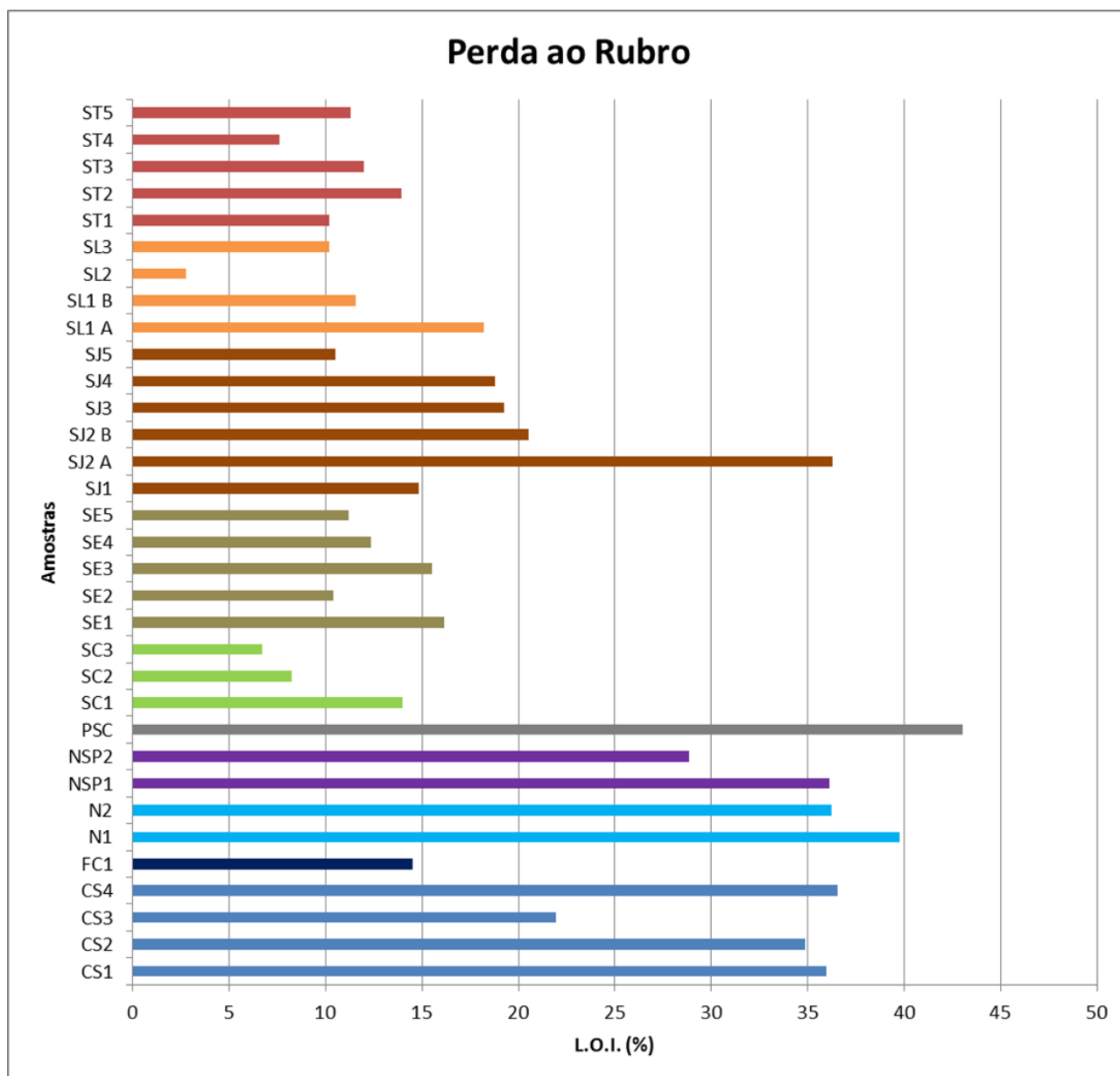


Fig. 7.1 Valores da Perda ao Rubro das amostras

### 7.3 Condutividade

A seguinte tabela demonstra os valores da condutividade medidos a partir de uma amostra também proveniente da Ilha da Madeira, mais especificamente da Fortaleza Palácio de São Lourenço, tendo sido já motivo de estudo no passado, através de um Projecto de Investigação Científica intitulado "Estudo dos Materiais de Construção Utilizados na Fortaleza Palácio de São Lourenço, R.A.M.". Fizeram-se medições com relações peso e quantidade de água diferentes, como se verifica na tabela, a fim de verificarmos a mais adequada, assim como o tempo de extracção.

Tabela 7.3 Valores de Condutividade

Tempo(h)	Relação (1:10)	Relação (1:5)	Relação (1:2)
	Condutividade ( $\mu$ S/cm)		
0	4,44	3,80	3,10
1	7,07	6,60	5,07
2	10,40	9,55	8,55
3	12,06	11,15	10,50
24	<b>15,14</b>	14,39	14,13
96	16,50	15,10	14,98
120	16,50	15,40	15,00
144	16,40	15,40	15,00
168	16,50	15,40	15,00
192	16,30		15,10

O seguinte gráfico mostra a progressão dos valores da condutividade da amostra usada num trabalho anterior com o tempo.

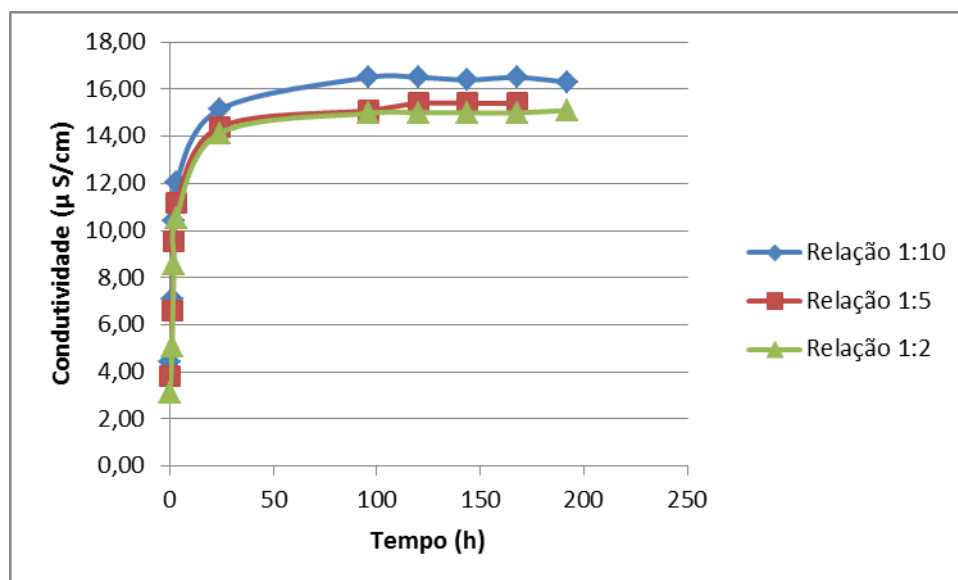


Fig. 7.2 Valores da condutividade da amostra

Com a ajuda do gráfico acima verificamos que a relação 1:10 é a mais apropriada, e o tempo de extracção é de 24 horas.

A seguinte tabela apresenta-nos os valores medidos, nas condições anteriores, das amostras.

Tabela 7.4 Valores de condutividade das amostras

Amostra	Peso (gr)	Condutividade ( $\mu$ S/cm)	Temperatura ( $^{\circ}$ C)
CS2	5,04	495,00	22,70
CS3	5,04	518,00	22,70
CS4	5,00	110,80	22,80
FC1	5,00	6,76	22,60
N2	5,11	1068,00	22,70
SC1	5,00	508,00	22,50
SC3	5,10	765,00	22,70
SE2	4,95	<b><u>2,55</u></b>	22,70
SE3	5,00	454,00	22,80
SE4	5,02	864,00	22,60
SE5	5,00	1265,00	22,60
SJ1	5,05	254,00	22,70
SJ2 A	5,00	876,00	22,70
SJ2 B	5,00	336,00	22,80
SJ3	5,01	6,52	22,60
SJ4	5,00	2,91	23,10
SJ5	5,02	730,00	22,50
SL1 A	5,02	687,00	22,50
SL1 B	4,71	171,70	22,90
SL3	5,03	425,00	23,30
ST2	5,02	959,00	22,60
ST3	5,07	3,37	22,50
ST4	5,12	477,00	22,80
ST5	5,03	<b><u>1307,00</u></b>	22,50

Verificamos que a amostra que apresenta maior valor de condutividade é a amostra com a referência ST5 (Forte de S. Tiago), e a que apresenta valor mais inferior tem a referencia SE2 (Sé do Funchal). Assim sendo a amostra ST5 apresenta uma maior quantidade de sais solúveis, como o Cálcio, Magnésio, Sódio e Potássio.

#### Casas de Salão

As amostras recolhidas das casas de salão apresentam valores de condutividade semelhantes excepto a CS4 que apresenta um valor relativamente reduzido. Estas amostras foram retiradas de sítios distintos, sendo que a CS4 se trata de um revestimento interior, enquanto que as restantes foram retiradas do exterior, estando mais expostas a grandes variações de temperatura.

### Forno da Cal

A amostra FC1 trata-se de uma argamassa da junta na parede exterior apresenta um valor de condutividade muito reduzido.

### Nora da Lagoa

A amostra N2 é uma amostra de argamassa da junta apresenta um valor alto de condutividade.

### Mosteiro e Convento de Santa Clara

Do Convento de Santa Clara foram analisadas duas amostras, a SC1 e SC3, sendo que a primeira apresenta um valor inferior. Porém as amostras foram retiradas de locais distintos, a SC1 trata-se de uma amostra de revestimento interior da Torre Sineira, e a SC3 é uma argamassa da junta do coro. A primeira amostra está mais exposta a grandes variações de temperatura

### Sé do Funchal

As amostras retiradas da Sé do Funchal apresenta valores de condutividade muito variados, pois foram extraídas de diversos locais, sendo que a amostra SE2 é de todas as amostras no geral aquela que apresenta menor valor de condutividade. As amostras SE3, SE4 e SE5 apresentam valores de condutividade superiores, sendo que vão aumentando gradualmente pela ordem referida.

### Forte de S. José

As amostras analisadas provêm de locais distintos, e apresentam valores de condutividade muito pouco semelhantes, a amostra SJ4 retirada da abóbada da entrada tem um valor de condutividade muito baixo, a amostra SJ2A é a que apresenta um valor mais alto. De realçar que a amostra SJ2A e a amostra SJ2B foram retiradas na zona de interior da abóbada da capela, sendo que a primeira trata-se de um reboco, e a segunda da junta, porém apresentam valores de condutividade muito diferentes.

### Fortaleza Palácio de S. Lourenço

As amostras SL1A e SL1B provêm do Torreão da Fortaleza Palácio de S. Lourenço, a amostra SL1A foi retirada do lado direito e apresenta um valor relativamente alto, a amostra SL1B retirada do lado esquerdo apresenta um valor mais inferior significativamente, a amostra SL3 retirada da parede onde se encontra a porta da saída apresenta um valor intermédio quando comparado com as restantes.

### Forte de S. Tiago

As amostras extraídas do Forte de S. Tiago apresentam valores de condutividade muito dispersos. A amostra ST4 e a ST5 foram retiradas do interior do túnel, mas de sítios diferentes, sendo que a última situada junto à porta da saída é aquela que apresenta um valor de condutividade, no

geral, mais elevado, diferindo razoavelmente do valor da outra. As amostras ST2 e ST3 apresentam valores pouco ou nada semelhantes, pois trata-se de sítios distintos.

O gráfico permite mostrar-nos a listagem das amostras e os respectivos valores de condutividade.

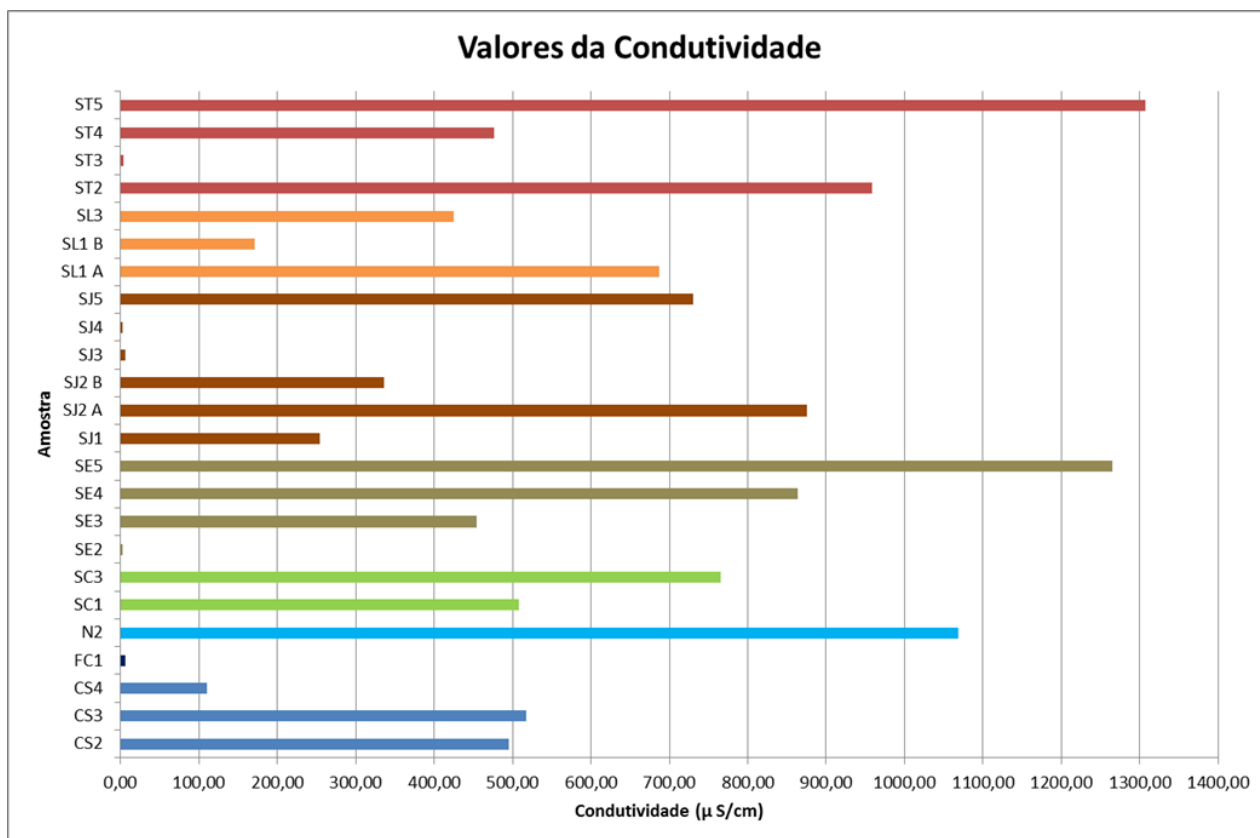


Fig. 7.3 Valores de Condutividade das amostras

## 7.4 Dissolução ácida

Este ensaio teve como objectivo o cálculo da percentagem de ligante nas amostras de argamassas através da percentagem de resíduo insolúvel.

Tabela 7.5 Percentagem de resíduo insolúvel e ligante nas amostras

Amostra	Peso Inicial (gr)	Filtro (gr)	Porcelana (gr)	Peso após secagem (gr)	Peso Final (gr)	Resíduo Insolúvel (%)	Ligante (%)
CS2	50,00	1,50	82,06	98,35	14,79	29,58	70,42
CS3	50,00	1,49	82,05	112,29	28,75	57,50	42,50
CS4	50,00	1,48	78,46	103,57	23,63	47,26	52,74
FC1	50,00	1,47	81,67	117,31	34,17	68,34	31,66
N2	50,00	1,49	85,62	111,77	24,66	49,32	50,68
SC1	50,00	1,49	85,61	129,77	42,67	85,34	14,66
SC3	50,00	1,49	77,91	127,10	47,70	95,40	<b>4,60</b>
SE2	50,00	1,46	97,30	127,12	28,36	56,72	43,28
SE5	50,00	1,40	97,28	143,42	44,74	89,48	10,52
SJ1	50,00	1,48	121,17	133,13	10,48	20,96	<b>79,04</b>
SJ2A	21,65	1,48	78,46	84,50	4,56	21,06	78,94
SJ2B	50,00	1,42	81,66	114,25	31,17	62,34	37,66
SJ3	50,00	1,46	76,05	110,49	32,98	65,96	34,04
SJ4	50,00	1,48	106,50	129,82	21,84	43,68	56,32
SJ5	50,00	1,45	77,91	129,52	50,16	100,32	-0,32
SL1A	50,00	1,51	77,74	107,75	28,50	57,00	43,00
SL1B	50,00	1,50	72,87	106,94	32,57	65,14	34,86
SL3	50,00	1,51	82,62	127,12	42,99	85,98	14,02
ST4	50,00	1,46	82,05	141,92	58,41	116,82	-16,82
ST5	50,00	1,48	82,60	122,12	38,04	76,08	23,92

A amostra que apresenta maior percentagem de ligante é a SJ1 (Forte de S. José), e a menor percentagem verifica-se na amostra SC3 (Mosteiro Convento de Santa Clara).

#### Casas de Salão

A amostra CS2 de argamassa recolhida na junta exterior da Casa de Salão apresenta um valor superior de percentagem de ligante quando comparado com o valor observado na amostra CS4 de argamassa do revestimento interior. A amostra CS3, recolhida do salão apresenta uma percentagem de agregado maior do que a percentagem de ligante, ao contrário das restantes, pois é constituída pela matéria prima local designada por salão.

#### Forno da Cal

A amostra de argamassa da junta na parede exterior, retirada do forno da cal apresenta uma percentagem de agregados muito superior à de ligante.

#### Nora da Lagoa

A amostra N2 de argamassa da junta apresenta um valor em percentagem de agregados muito semelhante à de ligante.

#### Mosteiro e Convento de Santa Clara

As amostras retiradas no Convento de Santa Clara apresentam uma percentagem de ligante muito reduzida, quando comparada com as dos restantes edifícios em estudo, porém verificamos uma

menor percentagem da amostra retirada da junta do que da retirada do revestimento. Estas amostras apresentam maior percentagem de agregado.

#### Sé do Funchal

Ao analisarmos os resultados das amostras da Sé do Funchal verificamos que apresentam valores muito diferentes de percentagem de ligante, entre elas, apresentando uma percentagem de agregado superior à percentagem de ligante.

#### Forte de S. José

Ao observarmos as amostras colhidas do Forte de São José verificamos que as amostras SJ2B, e SJ3, retiradas das argamassas das juntas apresentam menor quantidade de ligante, e consequentemente maior quantidade de agregado, contrariamente às amostras SJ1, SJ2A e SJ4 que foram retiradas dos rebocos e apresentam maior percentagem de ligante. A amostra SJ5 apresenta um peso após dissolução ácida superior ao peso inicial, devido à formação de um gel. A formação deste gel deve-se ao facto da amostra ser muito rica em sílica, que não está presente no quartzo, mas sim no feldspato, e ferro. A presença destes compostos permite a formação de minerais, e de um novo composto alcalino através da decomposição do feldspato, sendo que este gel retém voláteis. Pode também ser devido ao facto da existência de compostos orgânicos na argamassa.

#### Fortaleza Palácio de S. Lourenço

Ao examinarmos as amostras da Fortaleza Palácio de São Lourenço verificamos que a amostra de argamassa retirada na parede junto à porta da saída, a SL3, contém uma menor quantidade de ligante quando comparada com as restantes. Todas as amostras que foram sujeitas a este ensaio apresentaram mais percentagem de agregado do ligante.

#### Forte de S. Tiago

A amostra ST4 apresenta um peso após dissolução ácida superior ao peso inicial, devido à formação de um gel, sendo mais acentuado que na amostra SJ5. A formação deste gel deve-se ao facto da amostra ser muito rica em sílica, que não está presente no quartzo, mas sim no feldspato, e ferro. A presença destes compostos permite a formação de minerais, e de um novo composto alcalino através da decomposição do feldspato, sendo que este gel retém voláteis.

O gráfico permite-nos observar a percentagem de ligante em todas as amostras que estiveram sujeitas a este ensaio.

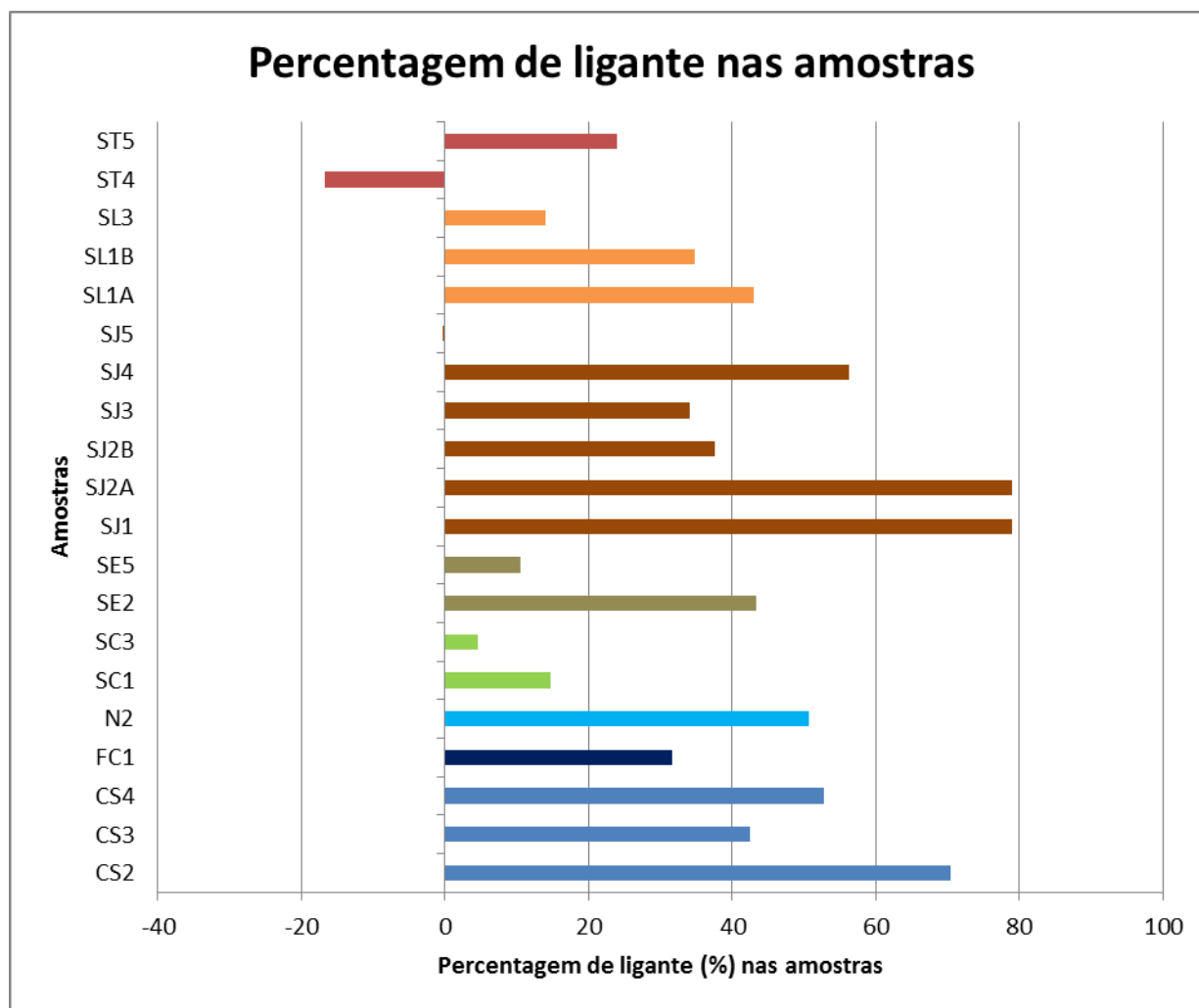


Fig. 7.4 Percentagem de ligante nas amostras

## 7.5 Capilaridade

Este ensaio teve como objectivo determinar a capacidade das argamassas em absorver água de forma natural.

Quanto maior for a capilaridade maior será a porosidade da argamassa, sendo que esta não deverá ser excessivamente impermeável de modo a permitir as trocas de vapor entre o suporte e o exterior de forma a evitar condensações.



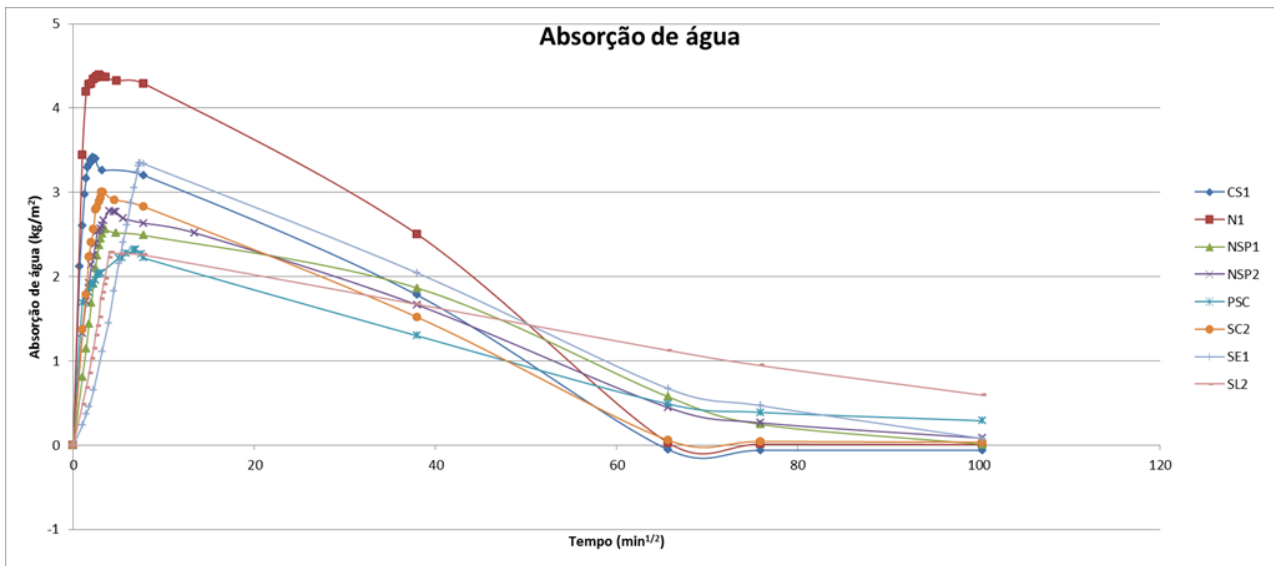


Fig. 7.5 Valores de absorção de água por capilaridade das amostras

Segundo o gráfico acima podemos verificar que a amostra com a referência N1 (Nora da Lagoa) apresenta maior capacidade de absorção de água, e essa absorção é feita mais rapidamente do que nas restantes amostras, e a amostra com a referência SL2 (Fortaleza Palácio de S. Lourenço) apresenta menor quantidade de água absorvida.

Recorreu-se a uma regressão linear de forma a obtermos o coeficiente de capilaridade das amostras, como podemos verificar nos seguintes gráficos.

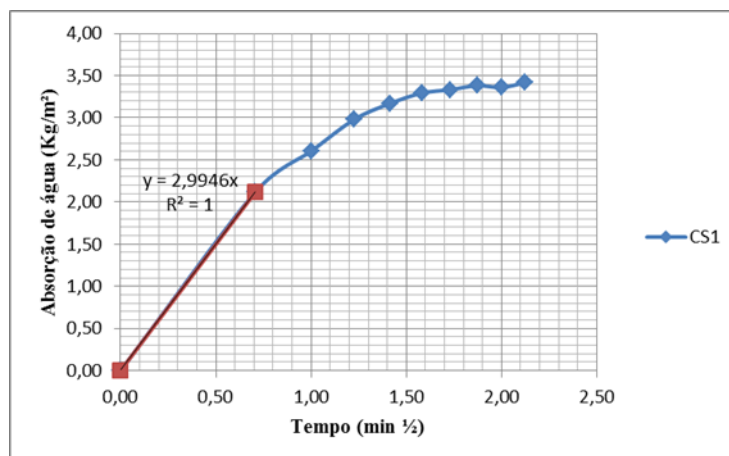


Fig. 7.6 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência CS1 (Casas de Salão)

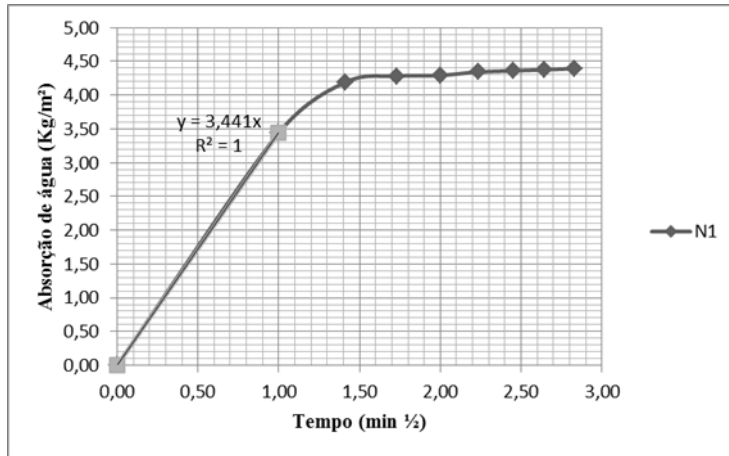


Fig. 7.7 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência N1 (Nora da Lagoa)

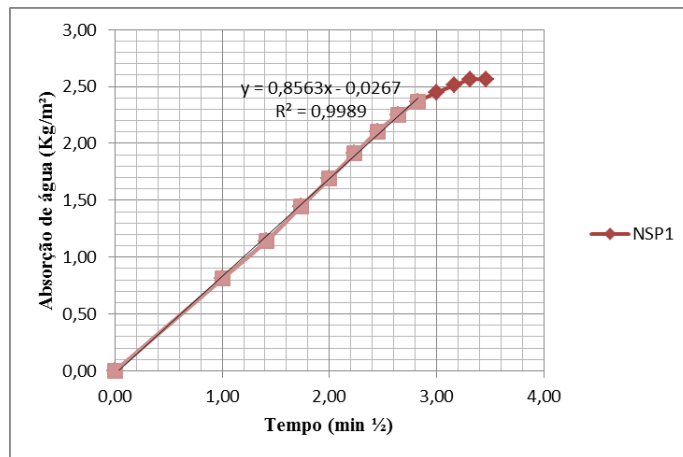


Fig. 7.8 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência NSP1 (Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade)

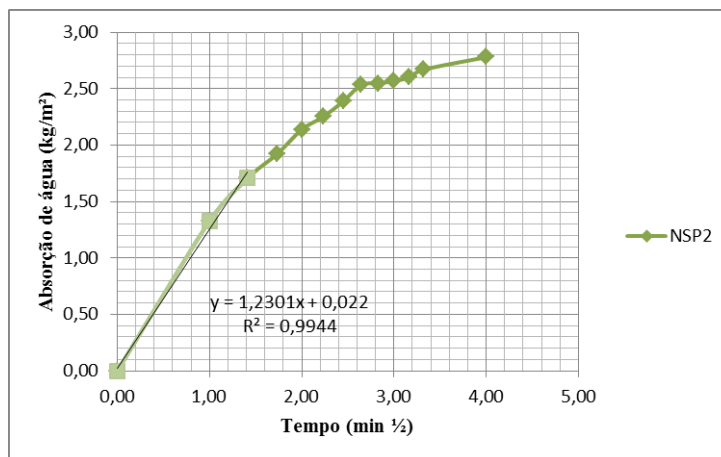


Fig. 7.9 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência NSP2 (Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade)

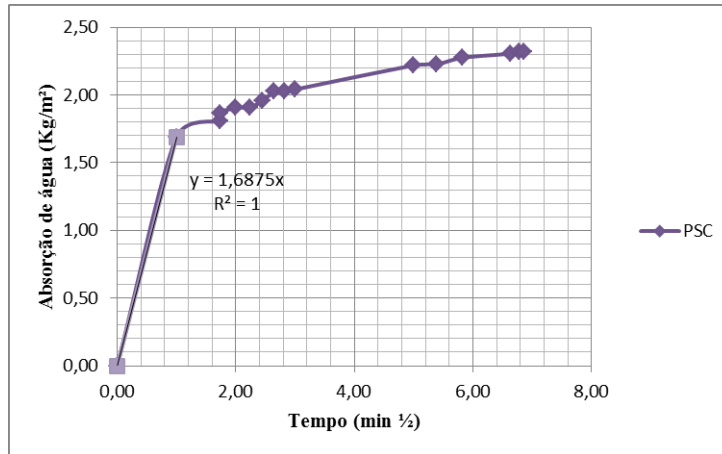


Fig. 7.10 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência PSC (Matérias Primas)

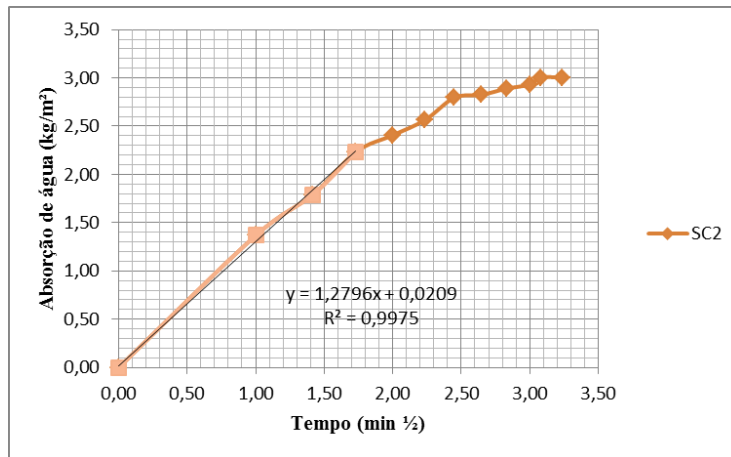


Fig. 7.11 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência SC2 (Mosteiro e Convento de Santa Clara)

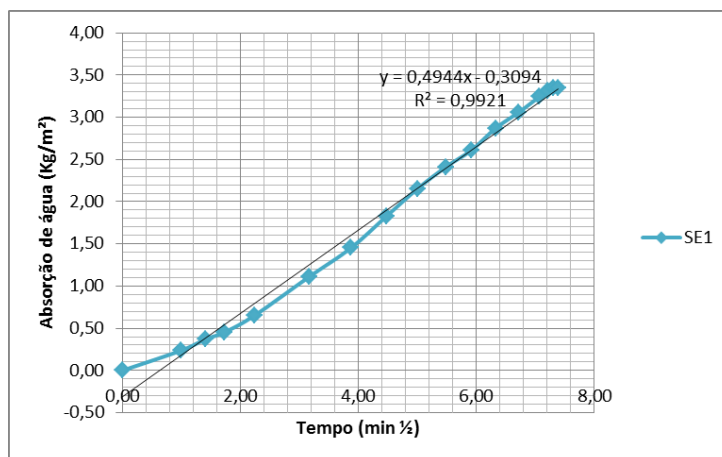


Fig. 7.12 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência SE1 (Sé do Funchal)

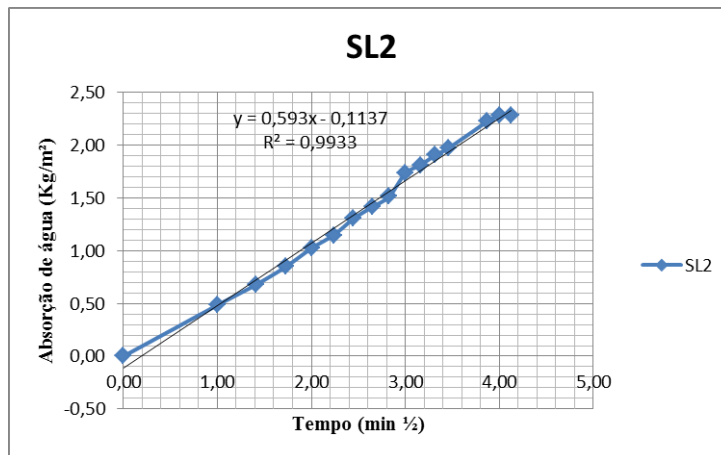


Fig. 7.13 Cálculo do Coeficiente de Capilaridade da amostra com a referência SL2 (Fortaleza Palácio de S. Lourenço)

Tabela 7.6 Valores do Coeficiente de Capilaridade das amostras

Amostra	Coeficiente de Capilaridade (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>½</sup> )
SE1	0,49
SL2	0,59
NSP1	0,85
NSP2	1,23
SC2	1,28
PSC	1,68
CS1	2,99
N1	3,44

De acordo com a tabela acima podemos verificar que a amostra com a referência N1 (Nora da Lagoa) apresenta o maior Coeficiente de Capilaridade, e a amostra com a referência SE1 (Sé do Funchal) o menor, pois esta amostra é bastante lenta a absorver água ao contrário da amostra N1.

Com os valores obtidos na análise química das amostras verificamos que quanto maior for a percentagem de SiO<sub>2</sub> nas amostras, maior é a percentagem de agregados, tratando-se desta forma de uma argamassa hidráulica, e menor é o coeficiente de capilaridade, como exemplo disso temos de uma forma mais evidente a amostra SL2 (Fortaleza Palácio de S. Lourenço), e a SC2 (Mosteiro e Convento de Santa Clara), que têm como elemento predominante o SiO<sub>2</sub>, de seguida temos a amostra SE1 (Sé do Funchal) embora tenha como elemento predominante o CaO apresenta um valor de coeficiente de capilaridade muito reduzido.

Na análise a este resultado podemos concluir que apenas a amostra SE1 (Sé do Funchal), e SC2 (Mosteiro e Convento de Santa Clara) apresentam valores contraditórios, isto é a SE1 deveria

apresentar um valor superior, e a SC2 um valor inferior, este resultado pode estar atribuído à granulometria e porosidade das amostras.

## 7.6 Resistência mecânica

Este ensaio foi realizado como referido anteriormente. Algumas amostras foram ensaiadas numa máquina com uma célula de carga de 5 KN, e outras tiveram uma célula de carga de 100 KN.

Tabela 7.7 Valores da tensão de ruptura

Amostra	Camadas	Espessura (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Máx Força (N)	Máx Tensão (N/mm <sup>2</sup> )	Ruptura Tempo (seg)
CS1	2,00	26,20	34,50	30,00	437,81	<b>0,48</b>	33,80
CS2	2,00	38,10	42,70	34,70	4950,00	3,04	×
CS2	2,00	31,20	37,60	32,90	4571,41	3,90	118,65
N1	1,00	35,40	26,50	32,40	4539,53	4,84	108,00
N1	1,00	29,90	28,70	28,40	2477,50	2,89	72,40
NSP1	2,00	29,10	25,20	43,40	756,09	1,03	×
NSP2	1,00	33,20	30,80	28,90	4446,09	4,35	113,30
PSC	1,00	35,70	38,60	32,20	22071,90	16,02	491,50
PSC	2,00	37,10	34,70	49,30	4341,41	3,37	96,20
SE1	1,00	32,40	32,60	31,90	6278,13	5,94	×
SE1	2,00	35,50	36,30	55,30	1702,34	1,32	59,05
SE1	2,00	36,20	32,10	46,50	2839,38	2,44	80,75
SE1	1,00	37,20	37,30	43,80	4950,47	3,57	×
SE1	2,00	37,60	31,00	31,10	4153,13	3,56	105,50
SL2	1,00	37,70	34,10	32,40	23871,90	<b>18,57</b>	504,20
ST1	2,00	30,50	36,40	43,10	4290,63	3,86	107,40

Da mesma amostra foram realizados vários provetes como podemos observar na tabela, porém o modo de construção não foi o mesmo, alguns incluíram duas camadas da mistura referida no capítulo anterior.

É de referir que este ensaio não confere valores muito fidedignos pois a construção do provete vai reforçar a amostra e permitir que esta tenha um valor de resistência mecânica superior ao real.

O Proвете que apresenta maior valor de tensão é constituído pela amostra com a referência SL2 (Palácio Fortaleza de S. Lourenço), sendo que o que apresenta menor valor é constituído pela amostra com a referência CS1 (Casas de salão) e duas camadas da referida mistura.

### Casas de Salão

O provete constituído pela amostra CS1 apresenta menor tensão de rotura, os provetes da amostra CS2 apresentam valores de tensão de rotura muito semelhantes.

### Nora da Lagoa

Os dois provetes da amostra N1 apresentam valores de tensão de rotura um pouco distintos.

### Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade

O provete da amostra NSP1, que se trata de uma argamassa da junta, constituído por duas camadas de mistura apresenta um valor de tensão de rotura relativamente baixo, ao contrário do provete da amostra NSP2 constituído por uma camada de mistura, que se trata de uma argamassa de reboco, que apresenta um valor bastante mais superior de tensão de rotura.

### Matérias-Primas

Relativamente aos provetes feitos a partir da amostra PSC podemos observar que ambos têm áreas da superfície em contacto muito semelhantes, mas a tensão de ruptura do provete com duas camadas de mistura apresenta um valor muito superior, ao valor registado no provete simples

### Sé do Funchal

Os cinco provetes feitos a partir da amostra SE1 apresentam diferentes valores de tensão de rotura, sendo que se verifica maior valor de tensão de rotura nos provetes com uma camada de mistura.

### Fortaleza Palácio de S. Lourenço

O provete formado a partir da amostra SL2 é o que apresenta maior valor de tensão de rotura.

### Forte de S. Tiago

O provete formado a partir da amostra ST1 é o que apresenta um valor de tensão de rotura relativamente baixo quando comparado com o maior valor de tensão de rotura.

Foi feita uma nova tabela onde constam os valores médios do ensaio e os quais consideramos para uma melhor análise e uma posterior comparação com o ensaio de capilaridade.

Tabela 7.8 Valores médios da tensão de ruptura

<b>Amostra</b>	<b>Máx Tensão (N/mm<sup>2</sup>)</b>
CS1	<b><u>0,48</u></b>
CS2	3,47
N1	3,87
NSP1	1,03
NSP2	4,35
PSC	9,70
SE1	3,36
SL2	<b><u>18,57</u></b>
ST1	3,86

No gráfico abaixo podemos verificar como varia os valores da tensão de ruptura dos provetes feitos através das amostras em estudo.

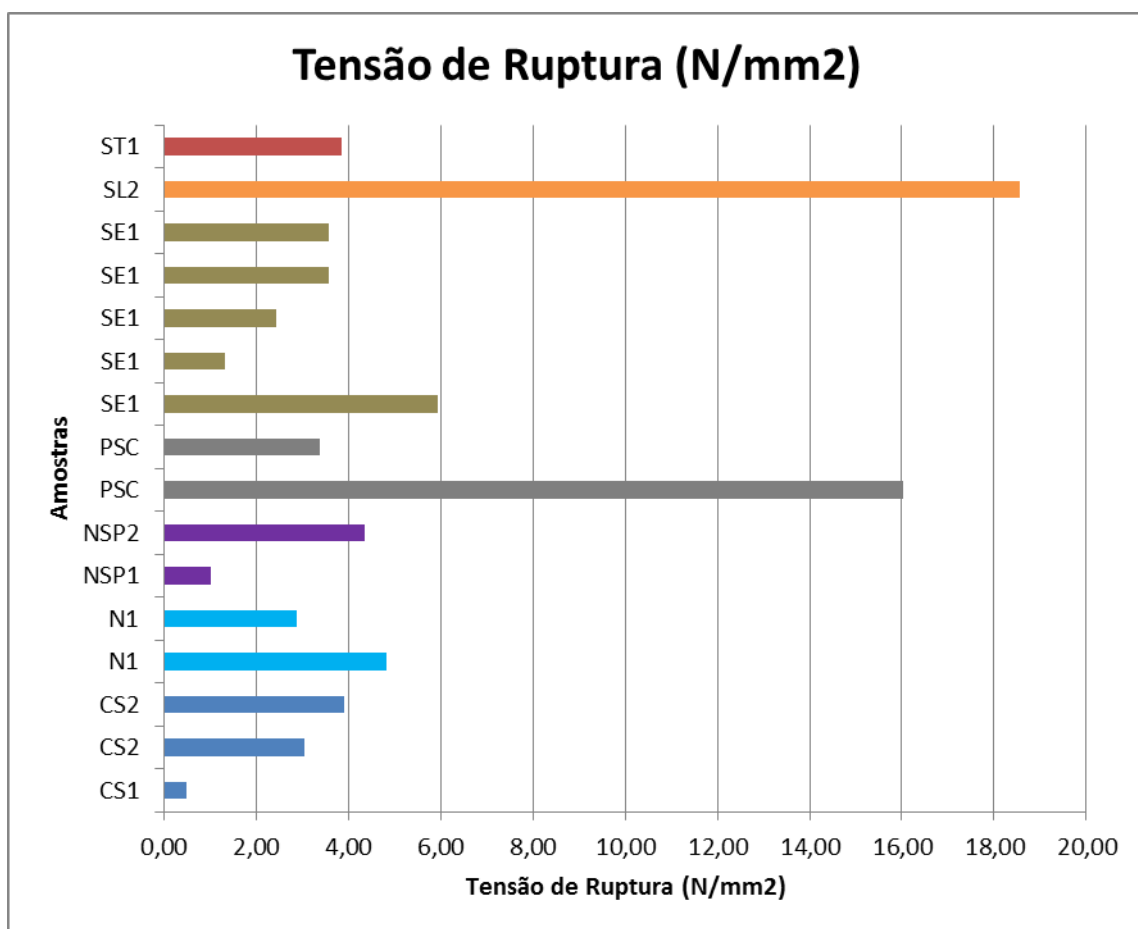


Fig. 7.14 Valores da tensão de ruptura

De forma a podermos comparar os valores obtidos da resistência à compressão, e os coeficientes de capilaridades a fim de podermos classificar o tipo de ligante utilizado recorreu-se a uma tabela utilizada a partir de ensaios efectuados no âmbito de um trabalho de investigação intitulado “*Conservation of historic renders and plasters, from lab to site*”, desenvolvido no LNEC, que nos poderia servir de referência.

Tabela 7.9 Valores de referência obtidos no LNEC

Tipo de cal	Máx Tensão (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Capilaridade (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
1. Aérea	0,2 - 0,8	1,1 - 1,6
2. Aérea e um pouco de Hidráulica	0,4 - 1,0	1,2 - 1,9
3. Hidráulica	0,6 - 3,1	1,0 - 2,4
4. Hidráulica e um pouco de cimento	0,9 - 5,1	1,0 - 2,0

Tabela 7.10 Classificação do ligante segundo o LNEC e a FRX

Amostra	Máx Tensão (N/mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Capilaridade (Kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Tipo de Cal	Tipo de cal - FRX
CS1	<b>0,48</b>	2,99	2	1
N1	3,87	<b>3,44</b>	3	1
NSP1	1,03	0,85	3	1
NSP2	4,35	1,23	4	1
PSC	9,70	1,68	4	1
SE1	3,36	<b>0,49</b>	3	1
SL2	<b>18,57</b>	0,59	4	4

Na tabela acima podemos observar que apenas a amostra SL2 coincide nas duas classificações. De acordo com a análise à FRX podemos classificar as restantes argamassas como sendo de cal aérea pois têm valores de SiO<sub>2</sub> significativamente inferiores aos valores de CaO. Desta forma não podemos adoptar a tabela do LNEC como sendo de referência.

Um factor que poderá ser muito importante nesta avaliação, e que poderá justificar o resultado desta comparação, é a idade, pois as argamassas em estudo têm idades muito diferentes, sendo que a resistência mecânica pode aumentar significativamente durante a vida das argamassas.



## 8 Conclusão

Este trabalho de mestrado teve como finalidade cumprir os objectivos delineados, ou seja, a caracterização de algumas propriedades físicas e a análise química e mineralógica de materiais de enchimento e de revestimento (argamassas) utilizadas na construção tradicional nas Ilhas da Madeira e do Porto Santo permitindo-nos também ter conhecimento das técnicas construtivas, dos agentes de degradação, e das acções de conservação e restauro, e ao mesmo tempo estabelecer a origem dos materiais utilizados.

Foi realizado um trabalho preliminar na escolha dos monumentos e edifícios a estudar, como critérios de selecção foram levados em conta as diferentes épocas de construção, pois trata-se de edifícios construídos no século XV ao XIX, e possuem ainda algumas argamassas originais, utilizadas na época de construção.

Os edifícios e monumentos foram alvo de intervenções, uns mais do que outros, sendo que provavelmente algumas amostras, as mais superficiais, de enchimento e revestimento, são mais recentes, resultado de intervenções posterior à sua construção.

Surgiu como continuidade de um trabalho de investigação técnica e científica aplicado que foi executado em parceria com instituições públicas e privadas entre as quais se destacam: Centro de Investigação GEOBIOTEC, Fundação para a Ciência e da Tecnologia (FCT), Direcção Regional dos Assuntos Culturais (DRAC), ENGEOMAD - Geoengenharia e Consultadoria e do Museu Militar da Madeira.

Após ter sido realizada a análise mineralógica das amostras pode-se concluir que as amostras das argamassas analisadas são essencialmente carbonatadas, sendo a calcite o mineral com maior percentagem em quase todas as amostras. Este facto é perfeitamente normal devido à existência de cal aérea nas amostras.

Através da existência de olivina, hematite e piroxena nas amostras conclui-se que os agregados utilizados nas argamassas estudadas são de origem vulcânica e consequentemente provenientes do arquipélago da madeira.

Ao examinar-se a composição química das amostras verifica-se que os locais de recolha que apresentam maior valor de Perda ao Rubro. e consequentemente maior percentagem de Cálcio são as Casas de Salão, as Matérias-primas, Forno da Cal, Nora da Lagoa e a Igreja de Nossa Senhora da Piedade.

Foi dito anteriormente que as casas de salão possuem bentonite, sendo este o nome da argila que cobre o telhado, esta argila possui catiões trocáveis e solvatados, logo é coerente o valor da condutividade na amostra com a referência CS3 (Casas de Salão).

Ao realizar-se a dissolução ácida conclui-se que as amostras às quais se efectuou a dissolução ácida, a amostra com a referência SC3 (Mosteiro e Convento de Santa Clara) é a que apresenta menor valor percentual de perda ao Rubro, e maior valor percentual de SiO<sub>2</sub>, maior percentagem de agregado e conseqüentemente menor percentagem de ligante.

Verificamos de um modo geral que quanto maior for a quantidade de cálcio nas amostras maior será a dissolução ácida, ou seja maior será a percentagem de ligante e conseqüentemente menor a percentagem de agregado, tratando-se de uma cal aérea.

As amostras com as referências SC1 (Mosteiro e Convento de Santa Clara), SJ2B (Forte de S. José), SL1A, SL1B (Fortaleza Palácio de S. Lourenço) apresentam cálcio como elemento predominante, porém têm uma percentagem de agregados maior do que de ligante, isto possivelmente deve-se ao facto do ligante embora exista em maior quantidade dissolve-se muito pouco, provavelmente será ligeiramente hidráulico.

A amostra que apresenta resultados mais satisfatórios, isto é a dissolução ácida coincide com a FRX é a amostra com a referencia SJ2A, (Forte de S. José) pois apresenta elevada percentagem de ligantes e de cálcio.

Há claras distinções na composição das amostras retiradas do mesmo edifício, revelando a existência de actos de conservação e restauro dos mesmos.

No ensaio de capilaridade verifica-se que a amostra com a referência N1 (Nora da Lagoa) apresenta o maior valor de absorção de água e uma maior percentagem de cálcio. A amostra com a referência ST1 (Forte de S. Tiago) apresenta um menor valor de absorção de água, pouca percentagem de cálcio, e muita percentagem de sílica. Verifica-se que as amostras estudadas no ensaio da capilaridade vão variando os seus valores. Considerou-se que os resultados das amostras com as referências PSC (Matérias Primas) e SC2 (Mosteiro e Convento de Santa Clara) no ensaio de capilaridade não estão de acordo com o esperado (resultados da FRX), ou seja, devido a diferenças na sua estrutura porosa.

O ensaio de resistência mecânica permitiu que se determinasse o valor da tensão de rotura das amostras, sendo que o mesmo aumenta nas amostras onde ocorre, em norma, uma menor absorção de água, excepto na amostra com a referência N1 (Nora da Lagoa).

A amostra com a referência SL2 (Fortaleza Palácio de S. Lourenço) possui uma maior tensão de ruptura porém não é a que possui um menor valor de absorção de água, apesar de apresentar um menor valor de perda ao rubro, uma maior percentagem de sílica e conseqüentemente maior percentagem de agregados.

A amostra com a referência CS1 (Mosteiro e Convento de Santa Clara) apresenta um valor de tensão de ruptura menor, um valor de perda ao rubro maior o que traduz uma maior percentagem de ligante.

Pode-se concluir que as amostras que apresentam ligantes hidráulicos apresentam valores de tensão de ruptura superiores, ou seja, possuem uma maior resistência mecânica.

O resultado deste ensaio seria mais fidedigno caso a área das amostras em contacto com o equipamento fosse igual para todas amostras, assim como a preparação dos provetes. Logo torna-se difícil fazer uma comparação com exactidão nos resultados obtidos, pois os valores variam de 0,48 N/mm<sup>2</sup> a 18,57 N/mm<sup>2</sup>.

Com os valores obtidos nos diversos ensaios a que estiveram sujeitas as amostras verificamos que quanto maior for a percentagem de SiO<sub>2</sub> nas amostras, maior é a percentagem de agregados, mais hidráulica é a argamassa, menor é o coeficiente de capilaridade e maior valor da resistência mecânica.

Este estudo permitiu-nos verificar que argamassas existentes nos mesmos edifícios têm características e comportamentos diferentes, e estão sujeitas a acções de temperatura diversas, sendo o clima um factor muito importante no comportamento das mesmas.

Verificou-se que estes edifícios têm sido alvo de várias intervenções sendo os métodos usados diferentes, tendo sido empregues argamassas hidráulicas em acções de conservação e reabilitação.

Recomenda-se como trabalhos futuros um estudo minucioso de caracterização dos componentes das argamassas tradicionais de revestimento e enchimento existentes ainda actualmente, e uma análise química e mineralógica das mesmas.

Dever-se-ia realizar trabalhos de amostragem em maior número por imóvel realizar “roços” no reboco e amostrar os vários níveis das camadas de argamassa até à estrutura/paredes de pedra do edifício e que a malha de amostragem seja mais fina.

Actualmente ainda são utilizadas areias carbonatadas e cal do Porto Santo no fabrico das argamassas. Desta forma seria importante realizar o estudo da composição química e mineralógica dos calcários recifais e calcoarenitos biogénicos do Porto Santo utilizados para a produção de cal, tendo em vista a elaboração de futuras argamassas de revestimento e enchimento.

Os objectivos propostos foram atingidos e esta dissertação resulta na caracterização de argamassas de vários edifícios e monumentos do arquipélago da Madeira.

## 9 Referências bibliográficas

- Atkins, P. W.** (2005), *The Periodic Kingdom*, HarperCollins Publishers.
- Ball, Philip** (2002), *The Ingredients: A Guided Tour of the Elements*, Oxford University Press.
- Beinhauer, P.** (2009), *Atlas de detalhes construtivos de Reabilitação*.
- Carita, Rui** (1981), *Introdução à Arquitectura Militar na Madeira – A Fortaleza Palácio de S. Lourenço*, Funchal
- Carita, Rui** (1996), *História da Madeira*.
- Carlos, M.** (2009), *Determinação de Insolúveis em Hcl*.
- Coutinho, A. S.** (1958), *Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos*.
- Coutinho, A. S.** (1988), *Fabrico e propriedades do betão, volume I*.
- Fernandes, B. M.** (2008), *Conservação de fachadas azulejadas na cidade de Ovar: comportamento mecânico*.
- Ferreira, M.P.V. e Neiva, J. M. C.** (1996), *Carta Geológica de Portugal, Folha da Ilha de Porto Santo, Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Instituto Geológico e Mineiro*.
- Freitas, Vasco Peixoto** (2003), *Impermeabilização de Paredes Enterradas*, Porto.
- Gomes, C. S. F.** (1992), *Conhecer o Passado e o Presente da Ria de Aveiro Para Perspectivar o seu Futuro*, Aveiro.
- Gomes, C. S. F.** (1992), *Argilas, Aplicações na Industria*, Aveiro.
- Gomes, C. S. F. e Silva, J. B. P.** (1997), *Pedra Natural do Arquipélago da Madeira – Importância Social, Cultural e Económica*.
- Gomes, C. S. F. e Silva, J. B. P.** (2001), *Beach sand and bentonite of Porto Santo island: Potentialities for applications in Geomedicine. Edition of the authors*.
- Gomes, C. S. F. e Silva, J. B. P.** (2006a), *Products based on clay, mud, and sand with interest for balneotherapy*.
- Gomes, C. S. F. e Silva, J. B. P.** (2006b), *Minerals and human health. Edition of the authors*.
- Kwiatkowski, D. e Lofvendahl, R.** (2004), *10 th International Congress on deterioration and conservation of stone, Volume I*.
- Kwiatkowski, D. e Lofvendahl, R.** (2004), *10 th International Congress on deterioration and conservation of stone, Volume II*.
- Lança, Pedro** (2007), *Redes Prediais de Drenagem das Águas Residuais*, Beja.
- Magalhães, A. e Veiga, R.,** *Physical and mechanical characterization of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*.
- Martins, J. G. e Assunção, J. S.** (2010), *Materiais de Construção, Argamassas e Rebocos*.

**Mestre, Victor** (2002), *Arquitectura Popular da Madeira*.

**Mestre, Victor** (2005), *Terra de cobertura: construções circulares com cobertura de terra (Alentejo) e coberturas de salão do Porto Santo (Madeira). Arquitectura de Terra em Portugal. Vulcânicas*.

**Mestre, V. e Aleixo, S.** (1998), *Arquitectura Popular no Arquipélago da Madeira – Património Atlântico, bases para a sua reabilitação enquanto património cultural*.

**Mestre, V. e Aleixo, S.** (1996), *Coberturas de salão na Ilha de Porto Santo*.

**Neno, C. J. F.** (2010), *Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão*.

**Neves, V. C.** (2012), *Conservação de argamassas de Cabo Verde*

**Nunes, J. C.** (2002), *Novos Conceitos em Vulcanologia: Erupções, Produtos e Paisagens*.

**Rodrigues, P.F.**, *Estudo comparativo de diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia*.

**Veiga, R.** (2010), *Conservation of historic renders and plasters from lab to site*.

**Veiga, R.** (2011), *Conservação e reparação de revestimentos de paredes em edifícios antigos*.

**Velosa, A.** (2002), *Influência das adições pozolânicas em argamassas de cal para conservação de edifícios antigos*.

**Velosa, A.** (2006), *Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas*.

NP EN 772-5

BSI 3921:1985

EN 1015-11

[www.mindat.org](http://www.mindat.org)

[www.webmineral.com](http://www.webmineral.com)

<http://representantedarepublica-madeira.pt/>

[www.monumentos.pt](http://www.monumentos.pt)

---

## 10 Lista de figuras

Fig. 3.1 Localização do Arquipélago da Madeira no Oceano Atlântico.....	14
Fig. 3.2 Distribuição da temperatura média diária do ar na ilha da Madeira.....	15
Fig. 3.3 Distribuição da precipitação média anual na ilha da Madeira.....	15
Fig. 4.1 Casa de Salão, Serra de Fora, Ilha de Porto Santo .....	17
Fig. 4.2 Barragem revestida com bentonite (salão) .....	17
Fig. 4.3 Pormenor de aplicação dos materiais na cobertura numa casa de salão no sítio das Eiras, ilha do Porto Santo.....	18
Fig. 4.4 Mosteiro e Convento de Santa Clara, Funchal .....	19
Fig. 4.5 Torre sineira do Mosteiro Convento de Santa Clara .....	19
Fig. 4.6 Altar da Capela do Convento de Santa Clara .....	19
Fig. 4.7 Fortaleza Palácio de São Lourenço .....	21
Fig. 4.8 Nicho da sala matacão na Fortaleza Palácio de S. Lourenço .....	21
Fig. 4.9 Museu de Arte Contemporânea, antigo Forte de S. Tiago .....	22
Fig. 4.10 Arco da porta de entrada do Museu de Arte Contemporânea, antigo Forte de S. Tiago.....	22
Fig. 4.11 Fachada principal da Sé do Funchal .....	24
Fig. 4.12 Alçado norte da Torre sineira da Sé do Funchal .....	24
Fig. 4.13 Pormenor do revestimento das argamassas sobre a pedra natural da torre sineira da Sé do Funchal.....	24
Fig. 4.14 Revestimento de argamassas no pano de parede da escada de caracol que dá acesso à torre sineira da Sé do Funchal .....	24
Fig. 4.15 Forte de São José nos séculos XVI/XVII .....	26
Fig. 4.16 Forte de São José, Principado da Pontinha em 2012.....	26
Fig. 4.17 Igreja Matriz da Nossa Senhora da Piedade, Porto Santo .....	27
Fig. 4.18 Torre Sineira da Igreja Matriz da Nossa Senhora da Piedade, Porto Santo .....	27
Fig. 4.19 Forno da Cal localizada no Porto dos Frades, Calhau da Serra de Fora.....	28
Fig. 4.20 Nora da Lagoa, localizada no sítio na Lagoa, Porto Santo.....	28
Fig. 6.1 Difractómetro existente no laboratório do departamento de geociências, UA.....	35
Fig. 6.2 Equipamento de FRX existente no laboratório do departamento de geociências, UA.....	36
Fig. 6.3 Condutivímetro.....	37
Fig. 6.4 Medição da condutividade.....	37
Fig. 6.5 Hotte com os equipamentos e reagentes existentes na realização da dissolução ácida .....	38
Fig. 6.6 Estufa utilizada no ensaio das amostras que sofreram dissolução ácida .....	38

Fig. 6.7 Aspecto da amostra com a referência CS4 (Casas de Salão) acabada de ser retirada da estufa .....	38
Fig. 6.8 Pesagem da amostra com a referência CS4 (Casas de Salão) para cálculo de percentagem de ligantes e de agregados .....	38
Fig. 6.9 Conjunto de amostras que foram preparadas para a realização do ensaio de capilaridade ....	39
Fig. 6.10 Geotêxtil e um cesto utilizados de medição de absorção de água .....	39
Fig. 6.11 Conjunto de provetes preparados a partir das amostras numeradas de 1 a 16, para o ensaio de resistência mecânica.....	40
Fig. 6.12 Pormenor do provete da amostra com a referência 2, para ensaiar tendo em vista a sua resistência mecânica.....	40
Fig. 6.13 Equipamento utilizado na medição da resistência mecânica dos provetes.....	41
Fig. 7.1 Valores da perda ao rubro das amostras .....	47
Fig. 7.2 Valores da condutividade da amostra .....	48
Fig. 7.3 Valores de condutividade das amostras .....	51
Fig. 7.4 Percentagem de ligante nas amostras .....	54
Fig. 7.5 Valores de absorção de água por capilaridade das amostras .....	55
Fig. 7.6 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência CS1 (Casas de Salão) .	55
Fig. 7.7 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência N1 (Nora da Lagoa) ...	56
Fig. 7.8 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência NSP1 (Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade).....	56
Fig. 7.9 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência NSP2 (Igreja Matriz Nossa Senhora da Piedade).....	56
Fig. 7.10 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência PSC (Matérias Primas) .....	57
Fig. 7.11 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência SC2 (Mosteiro e Convento de Santa Clara) .....	57
Fig. 7.12 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência SE1 (Sé do Funchal).	57
Fig. 7.13 Cálculo do coeficiente de capilaridade da amostra com a referência SL2 (Fortaleza Palácio de S. Lourenço).....	58
Fig. 7.14 Valores da tensão de ruptura .....	61

## 11 Lista de tabelas

Tabela 5.1 Listagem de amostras recolhidas .....	29
Tabela 7.1 Minerais existentes. nas amostras .....	43
Tabela 7.2 Percentagem de L.O.I. nas amostras .....	44
Tabela 7.3 Valores de condutividade.....	48
Tabela 7.4 Valores de condutividade das amostras .....	49
Tabela 7.5 Percentagem de resíduo insolúvel e ligante nas amostras.....	52
Tabela 7.6 Valores do coeficiente de capilaridade das amostras .....	58
Tabela 7.7 Valores da tensão de ruptura.....	59
Tabela 7.8 Valores médios da tensão de ruptura .....	60
Tabela 7.9 Valores de referência obtidos no LNEC .....	61
Tabela 7.10 Classificação do ligante segundo o LNEC e a FRX .....	62