

# **Aplicação da técnica de reboco armado na reabilitação de edifícios antigos**

**Bruna Alexandra Santos Henriques**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Civil**

Orientadores:

Prof. Inês Dos Santos Flores Barbosa Colen

Prof. Rita Maria Vilela Nogueira

**Júri**

Presidente: Prof. Jorge Manuel Caliço Lopes De Brito

Orientador: Prof. Inês Dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogal: Prof. Augusto Martins Gomes

**Mai de 2019**



## Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.



## **Agradecimentos**

Agradeço às minhas orientadoras Inês Flores-Colen e Rita Nogueira pela disponibilidade, orientação e por me conduzirem a contactos que foram essenciais para a realização da presente dissertação.

Aos Engenheiros Luís Mateus, João Farinha, Bruno Monteiro, Vasco Appleton, Rita Bento, Eduardo Monteiro, António Tribolet e Ana Moura, pelos seus contributos e disponibilidade na realização de entrevistas e disponibilização de informação para a realização dos casos de estudo. Sem eles a realização deste trabalho não seria possível.

Agradeço toda a minha família e amigos pelo apoio, reconforto e compreensão ao longo deste processo e principalmente à minha irmã do meio pela grande ajuda.



## Resumo

Em Portugal, um pouco por todo o país e principalmente nos centros históricos e urbanos, grande parte dos edifícios existentes é antiga. Estes edifícios têm importância patrimonial, cultural e arquitetónica existindo uma necessidade urgente da sua reabilitação. A reabilitação de edifícios antigos requer uma análise rigorosa das suas principais anomalias, do seu comportamento estrutural e das medidas de intervenção a implementar.

Com a evolução dos materiais de construção e a crescente necessidade por descobrir métodos cada vez mais rápidos e fáceis de aplicar, a técnica de reboco armado foi evoluindo.

Com esta dissertação, pretendeu-se estudar a técnica de reboco armado, os seus principais constituintes e técnicas de aplicação. Quis-se perceber se existe consenso por parte de especialistas na área da construção, em relação ao que se define como técnica de reboco armado e a sua principal finalidade, e perceber que tipos de soluções de reboco armado são aplicados atualmente na reabilitação. Para tal, procedeu-se a uma pesquisa sobre a técnica, realizou-se várias entrevistas a Engenheiros Cívicos e recolheu-se informações de várias obras de reabilitação onde a técnica de reboco armado foi aplicada.

Nas entrevistas, verificaram-se algumas divergências nas opiniões obtidas. Estas discordâncias resultam principalmente da forma como foi evoluindo a técnica. Em campo, nas obras de reabilitação analisadas, observa-se uma preferência pela utilização de rebocos industriais monocamada aplicados por projeção. Nestas obras, em algumas das paredes analisadas, as espessuras totais das lâminas de reboco armado aplicadas, apresentavam espessuras muito superiores às definidas nos pressupostos teóricos. Esta situação decorre da necessidade de alcançar soluções de reboco armado com um maior desempenho a nível estrutural e que vão ao encontro das condições de compatibilidade.

**Palavras-chave:** reboco armado; reabilitação; edifícios antigos; paredes; técnicas de reforço.





## **Abstract**

In Portugal, all over the country but mostly in urban historical centers, a significant part of the buildings is composed by old buildings. Those buildings have a huge patrimonial, cultural and architectonic importance and there is an urgency to rehabilitate them. Old buildings rehabilitation requires a precise analysis of their anomalies, their structural behaviour and of their intervention actions.

With the construction materials evolution and with the necessity to discover new, faster and easy methodologies, the reinforced plaster technique has been evolving through times.

With this work, it was intended to study the reinforced plaster technique itself, its main constitution and its application methodology. This work aims to understand whether there is a consensus between specialists about the reinforced plaster technique is definition and purpose. It also intends to recognize the solutions available and if those solutions are being applied in rehabilitation now a days. With this scope, a technical research and interviews of Civil Engineers were made and it was collected information from a sample of rehabilitation works who had applied the reinforced plaster technique.

Following the interviews, different involved opinions were observed. These differences result mainly from the wavy evolution the technique. In the field, at the rehabilitation sites that we analysed a preference for the use of industrial mono layer plaster applied through projection was observed. In these sites, in some of the observed walls the total thicknesses of the applied plaster layers was much thicker than theoretically expected. The reason for this is the need to achieve results with plaster blades that have a higher performance at a structural level and that match the compatibility conditions.

**Keywords:** reinforced plaster, rehabilitation, old buildings; walls; reinforcing techniques.



# Índice

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Considerações gerais.....	1
1.2.	Objetivos e metodologia.....	1
1.3	Estrutura do trabalho.....	2
2	PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS – TÉCNICAS DE REFORÇO.....	3
2.1.	Considerações gerais.....	3
2.2.	Suporte.....	3
2.2.1.	Paredes resistentes.....	3
2.2.2.	Paredes divisórias.....	7
2.3.	Anomalias.....	8
2.3.1.	Fendilhação.....	8
2.3.2.	Desagregação.....	9
2.3.3.	Esmagamento.....	10
2.4.	Técnicas de consolidação e reforço.....	11
2.4.1.	Injeção de caldas.....	12
2.4.2.	Substituição do material degradado.....	13
2.4.3.	Refechamento de juntas.....	14
2.4.4.	Encamisamento/lâmina de betão armado.....	15
2.4.5.	Pré-esforço.....	16
2.4.6.	Confinamento transversal de paredes.....	16
2.4.7.	Materiais compósitos.....	18
2.4.8.	Reboco armado.....	18
2.5.	Síntese do capítulo.....	19
3	TÉCNICA DE REBOCO ARMADO.....	21
3.1	Considerações gerais.....	21
3.2.	Caracterização pormenorizada.....	21
3.2.1	Argamassa de revestimento.....	22
3.2.2.	Armadura de reforço.....	27
3.2.3.	Técnicas de aplicação.....	31
4	TRABALHO DE CAMPO.....	35
4.1	Considerações gerais.....	35

4.2 Metodologia do trabalho.....	35
4.3 Entrevistas.....	37
4.3.1. Entrevista ao Engenheiro Luís Mateus .....	37
4.3.2. Entrevista aos Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro.....	38
4.3.3. Entrevista ao Engenheiro Vasco Appleton.....	40
4.3.4. Entrevista à Engenheira Rita Bento .....	42
4.3.5. Entrevista ao Engenheiro Eduardo Monteiro .....	43
4.3.6. Comentários Finais.....	44
4.4. Casos de estudo.....	45
4.4.1. Obra de Reabilitação do Edifício na Rua da Salitre, Nº 191 - Lisboa.....	46
4.4.2    Obra de Reabilitação da Ponte sobre a Ribeira da Machada – Lagos.....	53
4.4.3    Obra de Reabilitação do Edifício da Calçada de Santana, Nº 199 - Lisboa .....	57
4.4.4    Obra de Reabilitação do Edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138 - Lisboa .....	62
4.4.5    Análise crítica .....	65
4.4.6    Conclusões do capítulo .....	70
5    CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	71
5.1. Conclusões finais .....	71
5.2. Desenvolvimentos futuros .....	72
6    REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS	
Anexo A – Pormenor de reforço de paredes e abóbodas com reboco armado.....	A
Anexo B – Pormenor construtivo 1 - edifício da Rua da Salitre, Nº 191 .....	C
Anexo C – Pormenor construtivo 2 - edifício da Rua da Salitre, Nº 191.....	D
Anexo D – Pormenor construtivo 3 - edifício da Rua da Salitre, Nº 191.....	E
Anexo E – Pormenor construtivo 1 - edifício da Calçada de Santana, Nº 199 .....	F
Anexo F – Planta do piso 0 e cortes A-A e B-B - edifício da Calçada de Santana, Nº 199.....	G
Anexo G – Pormenor construtivo 1 - edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138 .....	H
Anexo H – Planta do piso 0, 1, 2 e 3 - edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138.....	I

## Índice de Figuras

Figura 1- (i) Aparelho regular de alvenaria; (ii) Aparelho regular em cantaria.....	5
Figura 2 – Tipos de paredes de pedra/cantaria. ....	5
Figura 3 – Classificação da seção das paredes em alvenaria de pedra consoante o número de paramentos: (i) Paramento simples; (ii) Dois paramentos sem ligação; (iii) Dois paramentos com ligação; (iv) Três paramentos com núcleo de fraca qualidade.....	6
Figura 4 - Frontal Pombalino - pormenor da Cruz de Santo André. ....	7
Figura 5 - Esquema da estrutura interna de tabique de madeira com fasquiado sobre prancha ao alto. ....	8
Figura 6 - Fendilhação entre panos de alvenaria ortogonais.....	9
Figura 7 - Desagregação do reboco devido à humidade do terreno. ....	10
Figura 8 – Injeção de caldas sob pressão.....	13
Figura 9 - Faseamento da execução do refeitamento de juntas, realizado em ambas as faces da parede.....	14
Figura 10 – Aspetos construtivos da técnica de encamisamento. ....	15
Figura 11 – Técnica de reforço de pré-esforço em estruturas de alvenaria. ....	16
Figura 12 - Representação esquemática (corte transversal) de: (i) Pregagens; (ii) Conectores.....	17
Figura 13 - Representação esquemática de pregagens de costura (planta): (i) Paredes ortogonais; (ii) Paredes de canto. ....	18
Figura 14 - Retração em rebocos constituídos por uma e três camadas. ....	23
Figura 15 - Esquema síntese dos rebocos tradicionais. ....	25
Figura 16 - (i) Malha de aço distendido; (ii) Malha de aço eletrossoldada. ....	28
Figura 17 - (i) Sistema <i>Richtergard</i> : rede polimérica, pregos de montagem e reboco; (ii) Instalação do sistema <i>Richtergard</i> : montagem da rede polimérica e aplicação do revestimento.....	29
Figura 18 - Fachada principal do edifício da Rua da Salitre, Nº 191. ....	46
Figura 19 - Fachada tardoz do edifício da Rua da Salitre, Nº 191.....	47
Figura 20 - (i) Planta Topográfica de Lisboa, 1780; (ii) Planta de Francisco D. Milcont, 1785. ....	47
Figura 21– Identificação do tipo de paredes e principais alinhamentos estruturais do edifício.....	48
Figura 22 - Deterioração do tabique de regularização da empena devido a infiltrações; (ii) Humidade e infiltrações em abóbodas e paredes. ....	49
Figura 23 - (i) Projeção do reboco sobre a rede de aço eletrossoldado; (ii) Pormenor da rede de aço eletrossoldado entre a argamassa de chapisco e o reboco; (iii) Pormenor da malha de fibra de vidro. ....	52
Figura 24 - (i) Lâmina de reboco armado no intradorso das abóbodas; (ii) Pormenor da malha de aço distendido aplicada no extradorso das abóbodas.....	53
Figura 25 - Aspeto geral da ponte sobre a Ribeira da Machada antes da intervenção.....	53
Figura 26 - (i) Execução dos furos para injeção de fendas; (ii) Pormenor dos furos e dos tubos de injeção.....	55
Figura 27 - (i) Pormenor da rede aplicada no intradorso do arco; (ii) Pormenor da rede aplicada num dos taludes. ....	56

Figura 28- Aspeto final da Ponte sobre a Ribeira da Machada. ....	57
Figura 29 - Fachada principal do edifício da Calçada de Santana, N° 119. ....	58
Figura 32 - (i) Pormenores do grampo de fixação; (ii) Pormenor da rede de aço distendido fixada na parede de empena direita do piso 3; (iii) Pormenor da transição da rede metálica do piso 4 para o piso 3. ....	62
Figura 31 – Fachada do edifício da Rua da Salitre, N° 134, 136, 136 <sup>a</sup> , 138. ....	62
Figura 32 - Pormenores das malhas de aço distendido aplicada nas diversas paredes. ....	65

## **Índice de tabelas**

Tabela 1 - Características principais das fibras (PrinceEngineering, n.d.). .....	31
Tabela 2 - Solução reboco armado aplicada nos casos de estudo analisados. ....	67





# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1. Considerações gerais**

A crescente necessidade de reabilitação verifica-se um pouco por todo o país. Uma das grandes preocupações das sociedades atuais é a preservação do seu património construído, sobretudo as edificações com valor histórico. O elevado estado de degradação que se verifica na maior parte destas edificações leva a uma necessidade urgente da sua reabilitação.

Com a evolução das construções, no final do século XIX e início do século XX, surgiram novos materiais de construção, como o betão, levando ao desuso da alvenaria como material estrutural e a uma crescente especialização nas construções com betão. Por outro lado, ocorreu uma progressiva perda de especialização e conhecimento relativamente às técnicas tradicionais de construção, resultando em erros de intervenção. No processo de reabilitação existem grandes desafios, sendo imprescindível uma correta análise do edifício, evitando-se assim cometer erros irreversíveis que possam pôr em causa o valor do património edificado.

Tratando-se de estruturas antigas, o tipo de intervenções a implementar requer particular rigor, critério e formação técnica específica no processo de elaboração do estudo de diagnóstico. A avaliação estrutural e a caracterização tipológica e mecânica das alvenarias alvo de intervenção são essenciais para o conhecimento do seu comportamento estrutural. Através da sua análise, é possível encontrar soluções de reforço que correspondem às necessidades atuais e que, ao mesmo tempo, satisfaçam as condições exigíveis para a reabilitação de estruturas históricas. Uma das grandes necessidades na reabilitação de edifícios antigos, é o reforço das alvenarias de forma a melhorar o seu comportamento a ações sísmicas, levando à investigação de novas técnicas e materiais de reforço (Appleton, 2011).

As anomalias verificadas em edifícios antigos dependem de vários fatores relacionados com as técnicas construtivas e materiais utilizados na sua construção, e a sua manutenção ao longo dos tempos, sendo as mais relevantes as que se verificam ao nível estrutural do edifício. Dependendo do tipo de anomalia estrutural verificada, existem diferentes técnicas de reforço que poderão ser aplicadas. O reboco armado, quando aplicado como solução de reforço estrutural, é uma dessas técnicas e será objecto de estudo da presente dissertação. Apesar de a técnica de reboco armado poder ser aplicada com outra finalidade, o presente trabalho irá incidir principalmente na solução como reforço ao nível estrutural da parede.

## **1.2. Objetivos e metodologia**

Ao longo do tempo, com a evolução e descoberta de novos materiais de construção, existem, hoje em dia, diversas soluções de reboco armado que conjugam diferentes armaduras e argamassas. Para além disso, a técnica de reboco armado pode ser aplicada com diferentes finalidades, existindo então, uma necessidade de avaliar quais os materiais que mais se adequam ao edifício em questão, consoante o objetivo pretendido. Estes condicionalismos, aliados à inexistência de estudos teóricos e

experimentais que acompanhem a evolução da técnica, criaram um certo desconhecimento e divergência por parte dos especialistas da área, relativamente a em que consiste a solução de reboco armado.

Em suma, pretende-se perceber se existe algum tipo de divergência e/ou incoerência e quais os seus motivos, em relação à técnica de reboco armado, assim como averiguar que tipo de soluções e técnicas se aplicam atualmente na reabilitação.

Sendo assim, serão realizadas entrevistas a especialistas na área da reabilitação para a recolha das suas opiniões, relativamente à técnica de reboco armado e análise das mesmas em casos de estudo, nomeadamente obras de reabilitação.

O presente trabalho incide essencialmente no estudo da técnica de reboco armado aplicada como reforço de paredes resistentes de edifícios antigos. Para uma melhor compressão da técnica, é importante proceder à realização do seu enquadramento e identificar as diferentes soluções de reforço. Esta é uma técnica que engloba essencialmente dois materiais, a argamassa de revestimento e a armadura de reforço. Tendo em conta a grande diversidade de tipos de argamassas e armaduras possíveis de se aplicar no reboco armado, torna-se imprescindível fazer o levantamento dos diferentes materiais utilizados, das várias soluções, assim como algumas das características e condicionalismos associados.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos. No capítulo 1, faz-se a introdução ao tema da dissertação e refere-se os objetivos e a metodologia do trabalho.

No capítulo 2, é realizada uma análise das principais características das construções de pedra, identifica-se as anomalias mais frequentemente verificadas neste tipo de construção e aborda--se os principais condicionalismos existentes nas intervenções realizadas em edifícios antigos. No final do capítulo, são nomeadas e descritas as principais técnicas de consolidação e reforço aplicadas a paredes resistentes de edifícios antigos.

No capítulo 3, é feita uma caracterização pormenorizada da solução de reboco armado, onde são nomeados e descritos os diferentes tipos de argamassa e armadura utilizados, assim como algumas das técnicas de aplicação.

No capítulo 4, apresenta-se resumidamente as entrevistas realizadas e comenta-se as várias opiniões obtidas. Neste capítulo, são também apresentados e analisados os quatro casos de estudo recolhidos em complemento à pesquisa bibliográfica, sendo aqui, também, comentados e discutidos os diferentes métodos aplicados.

No capítulo 5, apresenta-se as conclusões obtidas e desenvolvimentos futuros do tema desenvolvido nesta dissertação.

Por fim, no capítulo 6, encontram-se as referências bibliográficas e de seguida os anexos.

## **2 PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS – TÉCNICAS DE REFORÇO**

### **2.1. Considerações gerais**

São considerados edifícios antigos aqueles que foram construídos antes do aparecimento das construções que utilizavam o betão armado como material estrutural dominante. São todos aqueles cujos diferentes elementos constitutivos recorrem a técnicas e materiais tradicionais que têm origem na tradição romana. A reabilitação de edifícios antigos tem vindo a adquirir uma crescente importância devido à necessidade de preservação do património arquitetónico mas também porque se trata de uma atividade bastante interessante para construtores e projetistas. Os edifícios antigos que conseguiram chegar aos dias de hoje tiveram uma manutenção contínua onde foram utilizados materiais compatíveis e técnicas originais. As intervenções relacionadas com a reabilitação de edifícios necessitam de uma análise cuidada das anomalias existentes, procurando conhecer a sua origem, assentando nos princípios fundamentais da reabilitação: a durabilidade, compatibilidade e reversibilidade (Appleton, 2011).

### **2.2. Suporte**

Antes de proceder à identificação das anomalias existentes e análise das várias técnicas de reforço de paredes de edifícios antigos, é imprescindível caracterizar o tipo de suporte existente. A caracterização do suporte prende-se essencialmente pela identificação dos materiais constituintes, as técnicas de aplicação e a sua funcionalidade. Na análise deste tipo de suporte verifica-se uma grande heterogeneidade relacionada com os materiais e técnicas utilizadas. Esta situação advém principalmente à disponibilidade dos materiais existentes em cada zona, aos meios de transporte disponíveis e a fatores económicos e temporais. Para a caracterização do suporte pode ser realizada uma classificação tipológica. Esta classificação estabelece as suas diferentes morfologias, baseando-se nos diferentes locais e épocas em que foram construídas. De um modo geral, as paredes de edifícios antigos podem ser classificadas segundo a sua função considerando-se dois tipos de paredes: paredes resistentes ou paredes mestras e paredes divisórias ou de compartimentação (Appleton, 2011) (Pinho, 2011) (Barrell, 1997).

As paredes resistentes ou mestras podem ser aplicadas nas fachadas e no interior do edifício e ajudam na estabilidade do edifício. Este tipo de paredes apresenta, em geral, elevada espessura. As paredes divisórias ou de compartimentação são aplicadas no interior do edifício e têm como função a divisão dos espaços delimitados pelas paredes mestras. Estas paredes apesar de serem construídas com a finalidade de dividir os espaços interiores podem, ao longo do tempo, vir a desempenhar uma função estrutural (Pinho, 2000).

#### **2.2.1. Paredes resistentes**

As paredes resistentes ou paredes mestras são aquelas que, dadas as suas características geométricas e mecânicas, contribuem de forma decisiva para a estabilidade do edifício para as

solicitações verticais (geralmente de natureza gravítica) e para as forças horizontais de natureza aleatória (ventos e sismos). As paredes com capacidade resistente que definem as grandes divisões ou divisões principais são maioritariamente em alvenaria de pedra. Este tipo de paredes apresenta um elevado peso próprio, cujo principal objetivo é estabilizar as forças horizontais derrubantes e deslizantes, e uma elevada espessura (valores entre os 0,50 e 1,50 m), com o propósito de diminuir a esbelteza reduzindo-se o risco de instabilidade por encurvadura. A grande espessura destas paredes também contribui para proteger o interior das construções da ação do vento e da água da chuva. Em termos de resistência mecânica, têm boa resistência à compressão, sendo menor a esforços de corte e a sua capacidade de resistir a ações de tração e flexão é muito baixa ou quase nula (Appleton, 2011) (Pinho, 2000).

As paredes resistentes podem apresentar várias tipologias, relativamente à regularidade das faces das pedras que ficam à vista e do ponto de vista da utilização ou não da argamassa para ligação das pedras constituintes. Em relação à primeira tipologia mencionada, quando falamos de uma parede de alvenaria, esta pode ser tradicional, aparelhada ou mista. As paredes de alvenaria tradicional apresentam blocos de pedra toscos, angulosos e irregulares em forma e dimensão, ou rolados. A alvenaria aparelhada é constituída por pedras irregulares que se aparelham numa das faces, sendo que, no paramento à vista o aspeto da pedra é a de um polígono regular (Binda, 2005) (Flores et al., 2000).

Por fim, a alvenaria mista pode ser a junção da alvenaria tradicional com a aparelhada ou combinação da alvenaria de pedra com diferentes materiais, tais como a madeira e o tijolo. Em relação à segunda tipologia, a alvenaria denomina-se de pedra ordinária ou seca, sendo que a de pedra ordinária é caracterizada por apresentar as pedras ligadas entre si por uma argamassa ordinária de cal e areia enquanto a seca não apresenta qualquer tipo de argamassa de ligação (Binda, 2005) (Flores et al., 2000).

As paredes que são constituídas por blocos de pedra aparelhada de grandes dimensões e geometricamente regulares, assentes diretamente umas sobre as outras, é usual denominar-se de cantaria. Normalmente as cantarias não apresentam argamassa nas juntas, ou em alguns casos, quando utilizada, constitui uma camada de reduzida espessura (inferior a 5mm). Às cantarias também é comum serem designadas de alvenarias (de blocos regulares aparelhados e juntas secas) (Figura 1). Quando estes blocos de pedra aparelhados apresentam formas retangulares de dimensões variadas e aparelho pouco cuidado denomina-se de enxilharia. A durabilidade das construções de alvenaria e cantaria ao longo dos tempos deve-se, principalmente, à qualidade de mão-de-obra com que foram construídas (Costa, 2012) (El-Zeiny & Larralde, 2000) (Flores et al., 2000).



(i)



(ii)

Figura 1- (i) Aparelho regular de alvenaria (Costa, 2009); (ii) Aparelho regular em cantaria (Costa, 2012).

Na Figura 2 está representado de forma simplificada as diferentes definições das paredes resistentes quanto à forma dos elementos de pedra que a constituem e quanto à existência ou não de argamassa de ligação.

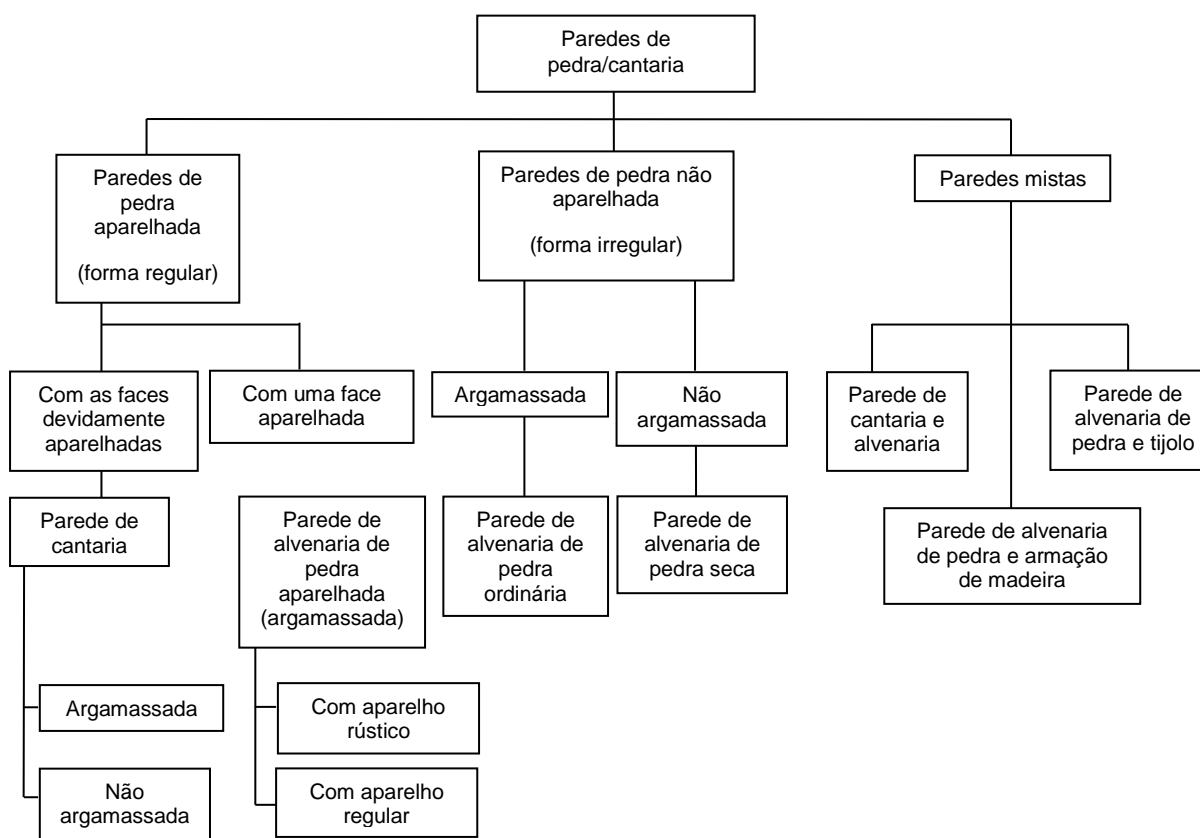
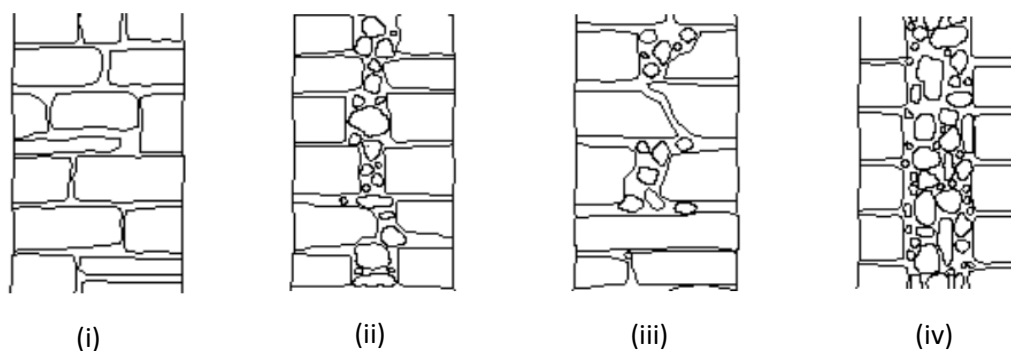


Figura 2 – Tipos de paredes de pedra/cantaria (Flores et al., 2000).

A classificação destas paredes quanto à constituição da secção transversal prende-se essencialmente com o número de folhas existentes e com a existência de materiais ou elementos no seu interior, tendo estes últimos funções de enchimento ou reforço das paredes. As paredes que

apresentam uma folha são compostas apenas por um pano de cantaria ou alvenaria mais ou menos regular e os seus elementos são colocados de modo a que as extremidades fiquem sobrepostas.

As soluções de duas folhas são constituídas por elementos de pedra irregular, podendo existir ligação entre elas ou não. As paredes de duas folhas sem ligação são constituídas por duas folhas separadas por uma junta vertical ao longo de toda a interface de contacto, seca ou preenchida por argamassa e cascalho. Nas paredes de duas folhas com ligação existem pedras transversais alongadas que atravessam a interface de contacto, sobrepondo-se ligeiramente ou completamente, atravessando toda a secção e designam-se de perpianhos. Nestas paredes existe no seu interior a presença de algum material solto ou parcialmente ligado, pobre e de pequenas dimensões. As paredes de três folhas apresentam um núcleo central formado por pedras ou outros materiais de pequenas dimensões e fraca qualidade, caracterizado por uma forte presença de vazios entre a argamassa e as pedras, delimitado por duas folhas exteriores constituídas por pedras de maiores dimensões, com razoável regularidade e maior qualidade (Pagaimo, 2004) (Pinho, 2000) (Roque & Lourenço, 2002). Na Figura 3 estão representadas as várias classificações das paredes quanto à constituição da secção transversal.



**Figura 3 – Classificação da seção das paredes em alvenaria de pedra consoante o número de paramentos: (i) Paramento simples; (ii) Dois paramentos sem ligação; (iii) Dois paramentos com ligação; (iv) Três paramentos com núcleo de fraca qualidade (Pagaimo, 2004).**

Por vezes, em construções de melhor qualidade, são utilizados perpianhos (elementos de pedra com comprimento igual à espessura da parede) nas paredes de múltiplas folhas com o objetivo de garantir o funcionamento solidário entre os dois panos. As paredes de múltiplas folhas por apresentarem grande irregularidade são muito susceptíveis a roturas frágeis quando sujeitas a cargas verticais ou horizontais e que podem resultar da separação dos paramentos e conseqüentemente da perda do material (Appleton, 2011) (Pinho, 2000).

O terramoto de 1755 que atingiu a cidade de Lisboa e destruiu a maior parte das edificações existentes, principalmente na Baixa de Lisboa, desencadeou o surgimento de um novo tipo de construção constituída por um sistema antissísmico. Esta construção denomina-se de Pombalina e é constituída por paredes resistentes (interiores e exteriores) reforçadas por uma armadura de madeira. Esta armadura era composta por um conjunto de peças verticais, horizontais e inclinadas, interligadas entre si, formando as “cruzes de Santo André”, constituindo um sistema com grande estabilidade. Nas

paredes interiores esta armação designa-se por frontal, mas este termo pode também ser aplicado à própria parede. Nos frontais, as “cruzes de Santo André” são envolvidos em alvenaria de tijolo maciço, fragmentos cerâmicos ou de pedra argamassada de cal (Figura 4). Estas paredes têm espessuras entre os 15 e os 22 cm (Appleton, 2011) (Maurício, 2012) (Pinho, 2000).



**Figura 4 - Frontal Pombalino - pormenor da Cruz de Santo André** (Appleton, 2010).

Nas últimas décadas do século XIX, esta solução construtiva foi abandonada, principalmente devido ao progresso técnico e ao facto de se querer reduzir os custos de construção. Esta tendência provocou uma diminuição significativa na qualidade das construções. As construções seguintes apresentavam paredes de alvenaria mais esbeltas permitindo uma construção mais rápida e económica (Appleton, 2011).

### **2.2.2. Paredes divisórias**

As paredes divisórias têm a função de dividir o interior do edifício e apresentam espessuras bastante inferiores às verificadas nas paredes resistentes. No entanto, na construção Pombalina, estas paredes passaram também a desempenhar uma função estrutural. Estas paredes não recebem diretamente as cargas verticais mas, pelo facto de existir uma interligação desta com outros elementos, pavimentos e coberturas, irá ocorrer uma contribuição bastante significativa para o travamento geral da estrutura. Para além da interligação dos elementos construtivos, existe outro fator que irá, a longo prazo, influenciar na função que inicialmente desempenhavam. Com o passar do tempo as paredes divisórias acabam por sofrer um acréscimo de solicitações, não só devido ao envelhecimento e fluência dos materiais, mas também pela ocorrência de movimentos diferenciais das fundações, ação dos sismos ou aumento de sobrecargas. Estas solicitações provocam alterações no pavimento ocorrendo uma deformação vertical do mesmo, entrando em contato com a parede e transmitindo-lhe parte das cargas que suporta. A deformação do pavimento passa a ser condicionada pelas paredes divisórias que passam a ter funções resistentes. Por estes motivos as paredes divisórias de edifícios antigos para além de dividirem os diferentes compartimentos desempenham, também, nos tempos atuais funções estruturais (Appleton, 2011) (Pinho, 2000) (Pinho, 2011).

Na construção Pombalina as paredes divisórias são de tabique. Este tipo de paredes caracteriza-se pela pregagem de um fasquiado de madeira sobre tábuas colocadas ao alto, prumos, em ambas as

faces, sendo o conjunto revestido por uma argamassa de areia e cal. O tipo de parede de tabique mais utilizado nestas construções é o de prancha ao alto, construído usando tábuas costaneiras que se fixam sobre o vigamento do soalho e do teto e com reboco sobre o fasquiado (Figura 5). Os tabiques de prancha ao alto exibem uma grande qualidade construtiva (Appleton, 2011) (Pinho, 2000) (Pires, 2013).

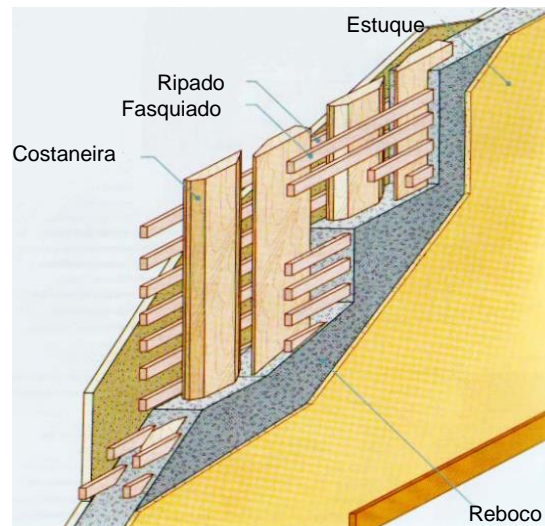


Figura 5 - Esquema da estrutura interna de tabique de madeira com fasquiado sobre prancha ao alto (Appleton, 2011).

## 2.3. Anomalias

Após a análise realizada às paredes de alvenaria de construções antigas, de seguida é feita uma descrição das principais anomalias verificadas neste tipo de paredes relativamente ao seu comportamento global. A identificação das anomalias é de extrema importância para a decisão da escolha adequada do tipo de intervenção a adotar. As anomalias verificadas podem advir de diversos fatores tais como, envelhecimento natural dos materiais, ações mecânicas e dinâmicas, assim como a falta de manutenção dos edifícios. As técnicas construtivas utilizadas, os critérios seguidos na escolha dos materiais também influenciam o estado de degradação em que se encontram atualmente. As principais anomalias verificadas nas paredes, tanto nas mestres como nas divisórias, deste tipo edificado são a fendilhação, desagregação e o esmagamento. Em seguida, é explicado quais as suas principais causas e alguns métodos construtivos que ajudam no controlo do aparecimento das mesmas (Appleton, 2011).

### 2.3.1. Fendilhação

A fraca resistência à tração e flexão que se encontra relacionada com a fraca capacidade de ligação da argamassa ou a inexistência desta é uma das principais causas para a formação desta anomalia nas paredes de alvenaria de pedra. Os esforços de tração e flexão são normalmente causados por movimentos de assentamento de fundações e são observados em zonas correntes da parede (Figura 6). Para diminuir a ocorrência deste tipo de fendilhação, eram realizadas paredes com perpianhos ou colocados grandes blocos de travamento na ligação de paredes ortogonais. No entanto se existirem



pontos fracos da construção, como aberturas ou fendas já existentes, é provável que ocorra um encaminhamento da fenda para estes pontos. As aberturas de vãos de portas e janelas são exemplos destes pontos fracos já que no seu contorno e cantos se localizam elevadas concentrações de tensões. Um dos fenómenos naturais que também provoca o aparecimento desta anomalia é o sismo. Estes produzem esforços de corte que conduzem à formação de fendas cruzadas com uma inclinação de 45°, aproximadamente. Outro fenómeno são as variações térmicas que geram tensões que podem dar origem a deslocamentos horizontais, rotações e fendilhações verticais e horizontais nos locais de ligação de paredes ortogonais. A constituição das paredes de alvenaria, e a qualidade dos materiais utilizados também influenciam no aparecimento e progressão desta anomalia. Uma construção onde foram aplicados, por exemplo, perpianhos, terá uma menor susceptibilidade ao aparecimento de fendilhação vertical (Appleton, 2011) (Pinho, 2000) (Pinho, 2002).



**Figura 6 - Fendilhação entre panos de alvenaria ortogonais** (Bayraktar & Yalçin, 2007).

### **2.3.2. Desagregação**

A desagregação pode ter origem na progressão e agravamento de fendas já existentes na parede, ou mais frequentemente, na ação dos agentes climáticos, nomeadamente a combinação de ciclos de calor e frio que provocam a expansão e contração de alguns materiais. O vento e a água também são fatores que irão contribuir bastante para o aparecimento e agravamento desta anomalia. O vento transporta poeiras e areias que acabam por colidir com a parede provocando a erosão dos revestimentos exteriores das paredes (Appleton, 2011).

A água proveniente da chuva ou de infiltrações nos solos e a humidade do terreno que ascende por capilaridade também contribuem para a desagregação das paredes. No interior da parede, a água tende a percorrer por zonas de fácil circulação como fissuras e vazios e vai arrastando partículas e dissolvendo os sais presentes nos e nos vários materiais de construção. Quando a água atinge evapora, os sais dissolvidos acabam por cristalizar. A cristalização desses sais provoca um aumento de volume provocando o destaque dos revestimentos. A água acaba por ser o principal provocador desta anomalia (Appleton, 2011) (Henriques, 2001) (Pinho, 2000).

Em geral, as zonas das paredes situadas nível do rés-do-chão apresentam-se mais deterioradas, dado que para além de serem afetadas pelos fenómenos descritos também sofrem, frequentemente, ações mecânicas resultantes de choques de objetos (Figura 7).



Figura 7 - Desagregação do reboco devido à humidade do terreno (Appleton, 2008).

### 2.3.3. Esmagamento

O esmagamento é uma anomalia menos frequente que a fendilhação, quando ocorre tem carácter localizado e a sua causa está na aplicação de cargas excessivas, tais como, a descarga de vigas em paredes onde estão assentes. Quando se procede à demolição das paredes de alvenaria e se recorre a vigas metálicas para a sua substituição, alterando o equilíbrio estático estabelecido na conceção inicial, verificar-se a ocorrência deste tipo de anomalia. Outro exemplo que pode provocar o aparecimento deste tipo de anomalia é a construção de edifícios ou compartimentos novos adjacentes a construções antigas. A realização de ancoragens na construção nova pode provocar tensões excessivas e pressões no solo que são transmitidas às fundações dos edifícios antigos. As pressões ascendentes nos solos são transferidas para as fundações das construções antigas desencadeando o esmagamento das paredes (Appleton, 2011) (Pinho, 2000).

Nas construções antigas, para evitar este tipo de anomalia, era usual recorrer-se a elementos de reforço como pedras de boa qualidade e boa resistência. Estas eram colocadas com a face superior aparelhada onde apoiavam, por exemplo, as vigas de pavimento ou asas de cobertura reduzindo, assim, as tensões existentes e evitando possíveis esmagamentos locais (Appleton, 2011) (Paiva, Aguiar, & Pinho, 2006).

## 2.4. Técnicas de consolidação e reforço

Quando se procede a uma intervenção de um edifício antigo acaba por existir sempre uma perturbação do seu equilíbrio. O nível intervenção deve ser o mínimo necessário para atingir os objetivos definidos (princípio da intervenção mínima) (Roque, 2002).

Na intervenção de edifícios antigos é necessário analisar cada caso individualmente tendo em conta os condicionalismos existentes. O tempo de vida útil de edifício pode ser perlongado através da sua manutenção recorrendo a ações de reparação, limpezas, pinturas, etc. Para evitar o aparecimento de anomalias devem ser aplicados métodos preventivos e estes devem ser sempre a primeira opção.

Existem dois tipos de ações que podem ser aplicados na reabilitação de edifícios antigos: ações de consolidação e ações de reforço. As ações de consolidação prendem-se com as operações que se destinam à correção de anomalias existentes, não alterando o estado em que se encontrava o edifício antes do aparecimento das anomalias e mantendo a integridade do edifício. As ações de reforço são aplicadas quando existe uma necessidade de alterar as características estruturais do edifício. O reforço tem como finalidade o melhoramento da capacidade resistente de paredes, fundações e no comportamento a ações dinâmicas (sismos, vento, vibrações induzidas, entre outros) e ainda correções de anomalias detetadas (Appleton, 2011) (Henriques, 1991).

Durante o processo de reabilitação, muitas vezes existe dificuldade ou até mesma a impossibilidade de recorrer a técnicas tradicionais. Este fato está relacionado com vários fatores, tais como a dificuldade de obter materiais idênticos ou recorrer a técnicas tradicionais, a falta de mão-de-obra qualificada na utilização dos processos construtivos originais, ou até mesmo devido razões económicas. Atendendo a isto e ao princípio da intervenção mínima, existem três exigências que devem ser asseguradas e são elas a compatibilidade, a durabilidade e a reversibilidade. De seguida, resumidamente, é explicado qual o objectivo de cada exigência (Roque, 2002) (Lourenço & Oliveira, 2004).

- i) compatibilidade mecânico-estrutural: minimizar as alterações ao nível do funcionamento estrutural inicial;
- ii) compatibilidade físico-química: minimizar o aparecimento de novas anomalias relacionadas com os diferentes comportamentos físico e /ou químicos entre os materiais novos e os existentes;
- iii) durabilidade: maximizar a durabilidade das estruturas antigas através da utilização de materiais e técnicas que permitem a preservação por um longo período de vida, especialmente nas estruturas históricas;
- iv) reversibilidade: garantir a possibilidade de remover as soluções de intervenção sem que prejudique a estrutura e os materiais existentes.

Garantir a reversibilidade nas técnicas de reabilitação de edifícios antigos é geralmente difícil de alcançar e por isso, muitas das vezes, as exigências descritas anteriormente não são verificadas nas

obras de reabilitação. No entanto, em obras ou monumentos históricos este requisito deve ser assegurado.

Existe, atualmente, uma grande diversidade de técnicas de consolidação e reforço que podem ser aplicadas em edifícios antigos. As diferentes técnicas podem ser distinguidas relativamente aos materiais utilizados ou relativamente aos efeitos obtidos no reforço.

Quanto aos materiais, as técnicas podem ser tradicionais ou modernas e são caracterizadas pelos seguintes aspetos (Roque, 2002):

- técnicas tradicionais: são aplicados materiais e processos construtivos idênticos aos originais;
- técnicas modernas: são utilizados materiais, processos construtivos e equipamentos diferentes dos originais e que normalmente são mais eficientes.

Em relação ao tipo de reforço, este pode ser diferenciado entre passivo e ativo e são caracterizados pelos seguintes aspetos (Roque, 2002).

- técnicas de reforço passivo: apenas funcionam para as cargas que são superiores às verificadas no equilíbrio;
- técnicas de reforço ativo: tem como objectivo alterar o estado de equilíbrio e deformabilidade da estrutura do edifício.

Comprando os vários tipos de técnicas, é preferível a utilização de técnicas tradicionais de forma a preservar o aspeto estético e cultural. A utilização de técnicas modernas deve ser bem ponderada tendo sempre em consideração a compatibilidade de materiais.

O motivo mais frequente para a necessidade de recorrer a técnicas modernas prende-se com a necessidade de um aumento significativo da resistência, permitido apenas por materiais e processos construtivos modernos, mais eficientes que os originais. De seguida encontram-se descritas as principais técnicas de consolidação e reforço de edifícios antigos.

#### **2.4.1. Injeção de caldas**

A injeção de caldas é uma técnica de consolidação de paredes resistentes de alvenaria de pedra. A sua aplicação tem como finalidade melhorar as características do material existente, normalmente verificada em alvenarias mal argamassadas e/ou que perderam parte do material aglutinante. Esta técnica consiste na injeção de uma calda fluída (cimentícia, hidráulica ou de resinas orgânicas) em furos distribuídos por toda a superfície dos paramentos externos. Esta calda irá preencher as aberturas e fendas aumentando a coesão dos constituintes, restaurando o seu monolitismo e homogeneidade e melhorando de forma geral resistência mecânica da parede (Frumento et al., 2006) (Ignoul et al., 2005) (Toumbakari, 2002).

Este tipo de consolidação é uma intervenção irreversível, indo contra o princípio da reversibilidade presente na Carta de Veneza. Após o endurecimento da calda injetada não possível removê-la sem afetar os constituintes da alvenaria. Para que a técnica respeite os princípios da Carta de Veneza é

necessário que a calda de injeção cumpra vários requisitos que garantem a compatibilidade e durabilidade e a autenticidade da alvenaria (Carta de Veneza, 1964).

Na escolha do tipo de produto de injeção e dos métodos deve ter-se em consideração os materiais existentes e o seu estado de degradação. Inicialmente esta calda era de base cimentícia. No entanto este tipo de ligante revela-se incompatível com os materiais existentes levando-se a que as caldas aplicadas nesta técnica evoluíssem para caldas bastardas constituídas por cal aérea e cal hidráulica e/ou cimento ou caldas de cal hidráulica (Almeida et al., 2011) (Vintzileou & Miltiadou-Fezans, 2008)

Para além dos aspetos relacionados com a irreversibilidade e a incompatibilidade entre a calda e o suporte existente, esta técnica também apresenta como inconvenientes a dificuldade de penetração da calda relacionada com a permeabilidade das alvenarias. Tendo em conta estes aspetos, na aplicação da técnica de injeção de caldas deve existir uma correta análise nas escolhas dos materiais a utilizar (Roque, 2002) (Carta de Veneza, 1964).

A aplicação desta solução de consolidação pode ser realizada por gravidade ou por pressão. A injeção por gravidade adequa-se a alvenaria que apresente elevado grau de degradação. Neste método os tubos de injeção são aplicados no topo das paredes e a calda, por gravidade, vai preenchido os vazios e fissuras. No caso da injeção por pressão, o estado de degradação em que se encontra a alvenaria deve ser inferior, para que o método não comprometa a estabilidade e a capacidade resistente da alvenaria. A solução consiste na injeção da calda, normalmente bastante fluídas, a baixa pressão de baixo para cima (Roque, 2002)



Figura 8 – Injeção de caldas sob pressão (Almeida et al., 2011).

#### **2.4.2. Substituição do material degradado**

A substituição do material degradado é uma técnica de consolidação e consiste na remoção do material degradado com o objetivo de substituí-lo por novos materiais, e geralmente é aplicada em reparações localizadas. O novo material de substituição deve ser semelhante ao removido sendo que, caso seja possível, deve ser aplicado com materiais da própria construção, removidos de outros locais. No entanto a utilização de materiais semelhantes nem sempre garante a compatibilidade, em

particular quando se tratam de argamassas de ligação e de assentamento que sofrem fenômenos de retração e que podem originar fendas nas zonas de ligação entre as alvenarias pré-existentes e as de substituição. Este efeito pode ser atenuado através da utilização de aditivos antirretração, expansivos ou cimentos especiais (Roque, 2002) (Appleton, 2011) (Paiva et al., 2006).

### 2.4.3. Refechamento de juntas

Esta técnica de reforço tem como finalidade o restabelecimento da integridade das paredes que apresentam degradação nas juntas de argamassa. Esta degradação normalmente é provocada pela água, agentes biológicos e ações mecânicas. O refechamento de juntas possibilita restabelecer a ligação dos diversos elementos constituintes e um aumento da resistência à compressão, resultante da melhoria da ligação dos elementos (Borri et al., 2011) (Roque & Lourenço, 2002) (Valluzzi et al., 2001).

A técnica consiste na remoção parcial das juntas e substituição por novo material com propriedades mecânicas e uma durabilidade superiores. Para garantir a eficácia da técnica é importante que todo o material que se encontra deteriorado seja removido por completo e que o suporte se encontre limpo, assim como, selecionar argamassas que não ponham em causa a compatibilidade com o suporte. A remoção parcial das argamassas pode ser feita apenas num dos lados da parede, ou em ambos. Esta técnica pode ainda ser complementada com armaduras de reforço. Estas armaduras podem ser de metal ou materiais compósitos FRP e permitem aumentar a eficiência do método (EU-India Economic Cross Cultural Programme, 2006) (Frumento et al., 2006) (Roque, 2002).

Na Figura 9, encontra-se representado um exemplo do refechamento de juntas, realizado em ambas as faces da parede.

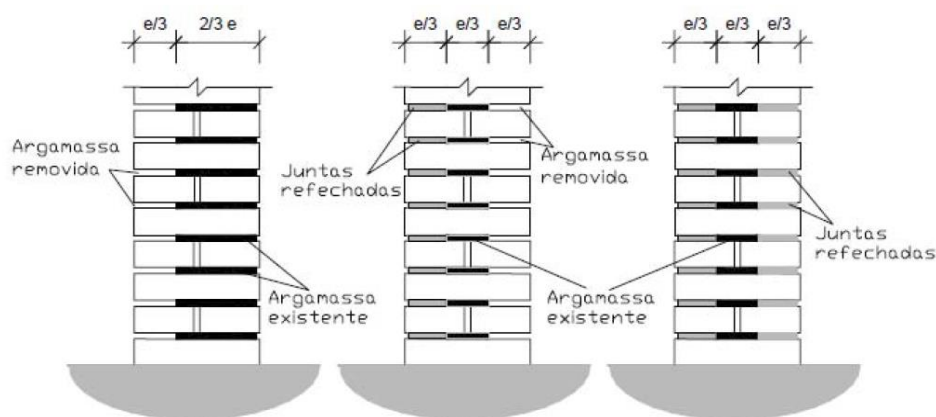


Figura 9 - Faseamento da execução do refechamento de juntas, realizado em ambas as faces da parede (Tomazevic, 1999).



#### 2.4.4. Encamisamento/lâmina de betão armado

A técnica de encamisamento ou lâmina de betão armado caracteriza-se pela aplicação de uma lâmina constituída por betão aplicado por projeção, geralmente com cerca de 10 cm de espessura, e uma armadura de aço (Figura 10). Este reforço permite aumentar consideravelmente a resistência à compressão e ao corte e a rigidez axial e transversal da parede de alvenaria. Geralmente é uma técnica aplicada em alvenarias muito irregulares e que apresentem elevado estado de degradação (Roque & Lourenço, 2002) (Penazzi et al., 2001).

Para uma correta fixação da armadura de aço, utilizam-se pregagens ou conectores. Na realização da técnica um dos aspetos a ter em consideração é o correto recobrimento da armadura. Este tipo de reforço pode ser aplicado numa ou em ambas as faces. No último caso, a utilização de confinadores transversais em aço, que atravessam a parede e ligam as lâminas, permite aumentar a eficácia da solução. Estes confinadores devem apresentar uma correta distribuição ao longo da parede. (Frumento et al., 2006) (Pinho, 2007).

Os aspetos negativos da técnica prendem-se com a irreversibilidade da solução e os aspetos relacionados com a compatibilidade dos materiais. Trata-se de uma solução muito intrusiva e que utiliza cimento Portland como ligante. As condicionantes aumentam quando aplicada em abas as faces uma vez que, a dificuldade verificada nas trocas de vapor de água entre o interior e o exterior da parede de alvenaria aumenta (Frumento et al., 2006) (Penazzi et al., 2001) (Roque & Lourenço, 2002).

Este reforço é semelhante à técnica de reboco armado. No entanto esta técnica é aplicada com lâminas de maiores espessuras e permite obter níveis resistência superiores.

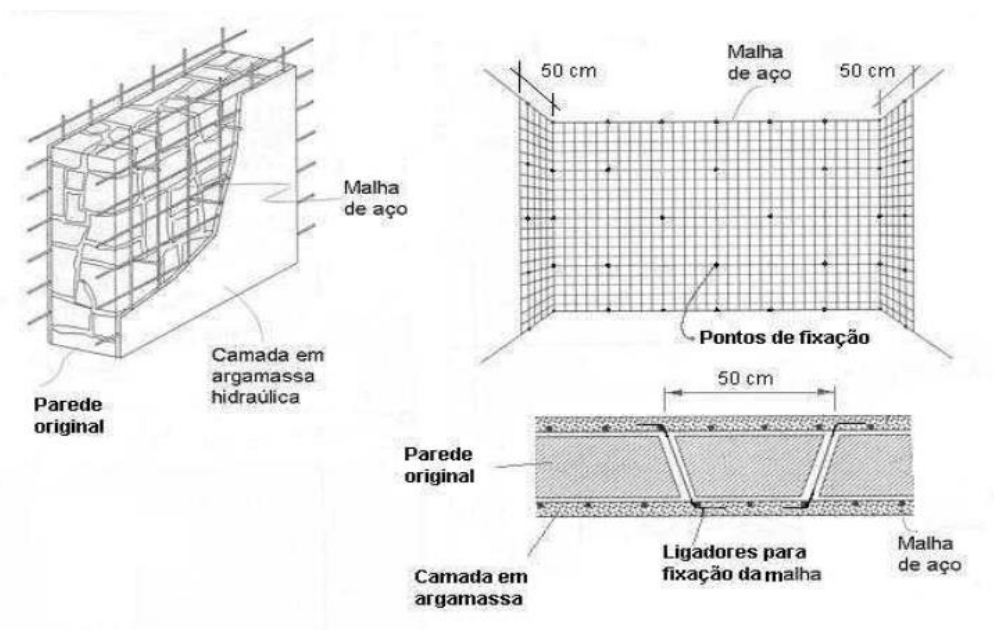


Figura 10 – Aspetos construtivos da técnica de encamisamento (Meli, 1998).

### 2.4.5. Pré-esforço

A técnica de pré-esforço consiste no reforço de paredes através de tirantes de alta resistência que são submetidos a um pré-esforço (Figura 1). No seu processo de execução é inicialmente realizado um furo onde são colocados os tirantes de aço. De seguida é injectada uma calda nos furos e após a sua cura procede-se à aplicação do pré-esforço nos tirantes (Roque & Lourenço, 2002).

Esta técnica permite aumentar a capacidade resistente da alvenaria, especialmente na resistência ao corte, e melhorar o seu comportamento em serviço (deformações e fendilhação). Em contrapartida, ocorrem alterações nas condições de equilíbrio da estrutura que podem originar outras anomalias, devido ao aumento das tensões presentes na alvenaria. De forma a evitar o surgimento de novas anomalias, antes da aplicação da técnica deve ser realizada, de forma cautelosa, uma análise das características da alvenaria a reforçar (Appleton, 2011) (Roque & Lourenço, 2002).

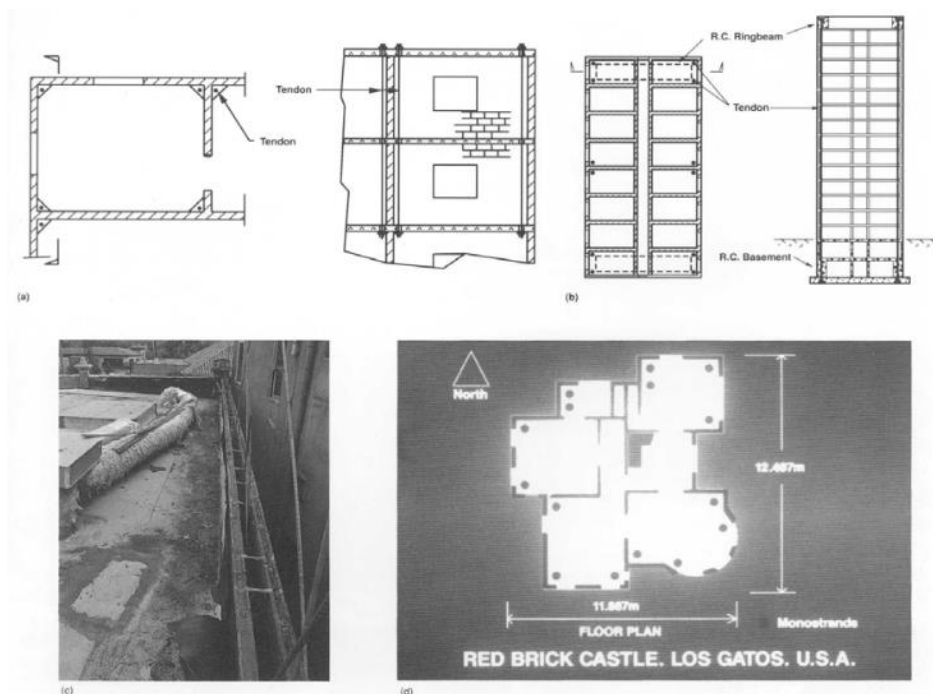


Figura 11 – Técnica de reforço de pré-esforço em estruturas de alvenaria (Ganz, 1990).

### 2.4.6. Confinamento transversal de paredes

Esta técnica de reforço consiste na introdução de conectores ou pregagens metálicos que atravessam transversalmente a parede. Este tipo de reforço é aplicado em paredes de múltiplas folhas que apresentem núcleos de materiais pobres e problemas relacionados com a interligação dos vários panos. A sua finalidade incide no aumento da estabilidade e no impedimento da separação dos panos. A introdução de conectores ou pregagens permite melhorar o comportamento monolítico da parede, aumentar a sua resistência e integridade estrutural (EU-India Economic Cross Cultural Programme, 2006) (Roque & Lourenço, 2002).



Para a realização da técnica, parte do material existente é removido para a execução dos furos. Depois de colocados os elementos metálicos nos furos é feita uma selagem com calda e após a sua presa são colocadas chapas de ancoragem fixas nas extremidades dos conectores ou pregagens, permitindo o confinamento desejado. A calda utilizada na selagem deve garantir as condições de compatibilidade entre o material existente e a reforçar. Os furos são realizados localmente apenas nas zonas onde se pretende reforçar. Nesta técnica pode ser aplicada uma manga injectada que visa imitar o reforço obtido nos perpianhos (Costa & Arêde, 2006) (Cóias, 2007) (Pinho, 2007) (Frumento et al., 2006) (Roque & Lourenço, 2002) (Silva, 2007).

A técnica de confinamento transversal de paredes revela-se intrusiva e parcialmente irreversível. Dependendo do objetivo e do grau de deterioração que apresenta o elemento a reforçar, os furos apresentarão diferentes distribuições, direções, dimensão e comprimento. Os elementos de reforço que apresentam um comprimento igual à espessura da parede, designam-se por conectores. Os elementos cujo seu comprimento é inferior ao da parede designam-se por pregagens (Figura 12). Dentro das pregagens podem-se distinguir outros tipos de pregagens, consoante a sua finalidade. As pregagens de costura permitem melhorar a ligação entre paredes ortogonais (Figura 13). As pregagens longas são aplicadas com a finalidade de melhorar a estrutura a nível global. Estas últimas podem apresentar diferentes dimensões, consoante a zona em que é implementada e o tipo de reforço pretendido, e os furos podem atingir vários metros perlongando-se ao longo da parede (Roque & Lourenço, 2002) (Teixeira, 2010).

O “retículo cementato” consiste no confinamento transversal de paredes através da introdução de um reticulado de barras de aço com uma certa inclinação formando uma estrutura tridimensional. É aplicado com a finalidade de modificar as características mecânicas do material, aumentando a resistência à tração, compressão e corte. Apesar das vantagens, esta solução é dispendiosa e a execução de elevado número de furos inclinados dificulta a exequibilidade da técnica (Cóias, 2007) (Costa & Arêde, 2006) (Giuffrè, 1993) (Frumento et al., 2006) (Meli, 1998) (Sofronie, 2005).

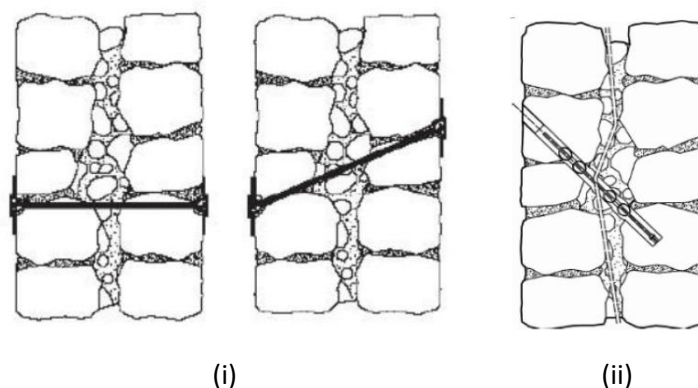
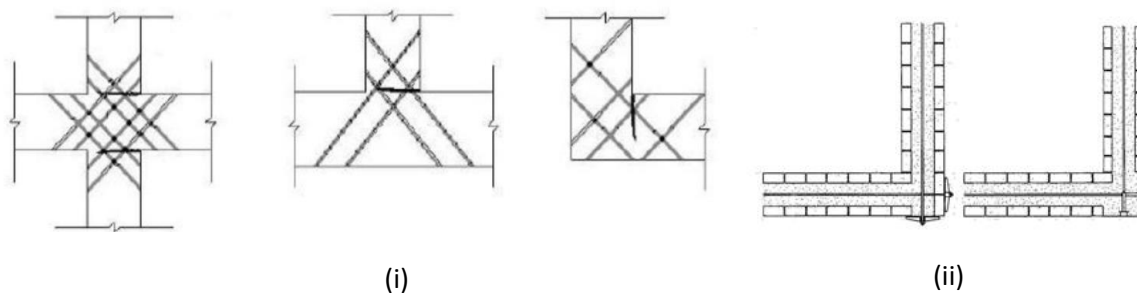


Figura 12 - Representação esquemática (corte transversal) de: (i) Pregagens; (ii) Conectores (Cóias, 2007).



**Figura 13 - Representação esquemática de pregagens de costura (planta): (i) Paredes ortogonais; (ii) Paredes de canto** (Meli, 1998) (Giuffrè, 1993).

#### 2.4.7. Materiais compósitos

Esta técnica de reforço é caracterizada pela aplicação de materiais compósitos sobre a superfície da parede a reforçar. Os compósitos FRP (Fiber Reinforced Polymer) são constituídos por fibras que podem ser de carbono (CFRP), de vidro (GFRP) ou aramida (AFRP) e por uma matriz de alto desempenho. Esta matriz tem como finalidade aglutinar as fibras permitindo que estas confirmem resistência mecânica pretendida quando aplicadas sobre o suporte. A técnica é aplicada com o objetivo de melhorar a resistência mecânica, a resistência à flexão e compressão e ainda permitir um melhoramento no comportamento à fadiga, ações cíclicas e ações sísmicas. Alguns fatores como a composição dos materiais utilizados, o comprimento, orientação e a forma das fibras, assim como o tipo de ligação entre a matriz e as fibras, influenciam no comportamento final da técnica. Trata-se de um reforço que apresenta uma fácil aplicação e que é reversível. No entanto apresenta uma reduzida durabilidade devido a problemas relacionados com dificuldade da aderência das fibras ao suporte (Costa et al., 2004) (Kalila & Kabir, 2012) (Juvandes et al., 1996).

Este tipo de reforço também pode ser conseguido por aplicação de cintas laminadas, dispostas verticalmente e horizontalmente. Esta solução confina a parede e permite o reforço aos esforços de flexão provocados por ações perpendiculares ao seu plano (ações horizontais). Outra solução consiste na colocação de mantas, de forma generalizada ou localizada, ao longo do plano das paredes. Neste caso obtém-se um incremento da resistência ao corte impedindo a ocorrência da rotura da argamassa provocada pelas tensões e tração diagonais. Esta solução pode ser melhorada com a aplicação de pregagens, conectores ou chapas metálicas. Alguns dos condicionantes desta técnica estão relacionados com os problemas de compatibilidade (físico e mecânico) e na alteração do comportamento térmico e higrométrico, impermeabilizando a alvenaria (Cóias, 2007) (EU-India Economic Cross Cultural Programme, 2006) (Frumento et al., 2006).

#### 2.4.8. Reboco armado

A técnica de reboco armado é bastante utilizada na reabilitação de edifícios antigos e tem sofrido um desenvolvimento ao longo do tempo. A sua aplicação possibilita o reforço ao nível estrutural através do aumento da ductilidade (capacidade de deformação), uma melhoria ao comportamento às ações horizontais, o aumento da capacidade portante, assim como uma melhoria na ligação entre paredes.

Consiste na aplicação de uma argamassa conjuntamente com uma armadura. Pode ser realizada localmente, em toda parede ou até de forma generalizada, abrangendo todo o edifício (Roque, 2002) (EU-India Economic Cross Cultural Programme, 2006) (Sofronie, 2005).

Esta solução é irreversível uma vez que a sua remoção provoca uma alteração da superfície do paramento. Outra das desvantagens está relacionada com o aumento da massa da estrutura que, assim na aplicação de lâminas de betão armado, pode obrigar a que as fundações do edifício sejam alvo de reforço. Na aplicação desta técnica existe também uma alteração a nível estético (Sofronie, 2005).

## **2.5. Síntese do capítulo**

Na reabilitação de edifícios antigos, é importante ter em consideração a sua relevância histórica ou arquitetónica, tentando-se preservar as suas características originais. As paredes dos edifícios antigos podem ser classificadas segundo a sua função considerando-se dois tipos de paredes diferentes: paredes resistentes ou paredes mestras e paredes divisórias ou de compartimentação. As paredes resistentes são maioritariamente em alvenaria de pedra e contribuem de forma decisiva para a estabilidade do edifício para as solicitações verticais e para as forças horizontais de natureza aleatória. Na construção Pombalina, as paredes resistentes (interiores e exteriores) são reforçadas por uma armadura de madeira formando as “cruzes de Santo André”. As paredes divisórias têm a função de dividir o interior do edifício. No entanto, ao longo do tempo, estas paredes passam também a ter uma função estrutural. Na construção Pombalina, estas paredes são de tabique.

As anomalias presentes em edifícios antigos podem advir de diversos fatores e a sua identificação é de extrema importância para a decisão da escolha adequada do tipo de intervenção a adotar. As principais anomalias que se verificam nas paredes de edifícios antigos são a fendilhação, desagregação e o esmagamento. O envelhecimento dos materiais ao longo do tempo é a principal causa das anomalias presentes neste tipo de edifícios.

Na reabilitação de um edifício antigo, acaba por existir sempre uma perturbação do seu equilíbrio. Os processos preventivos devem ser sempre a primeira opção para evitar futuras anomalias. No processo de reabilitação, existem diversas condicionantes quando se recorrem a técnicas tradicionais. No entanto, existem três exigências que devem, sempre que possível, ser asseguradas, nomeadamente a compatibilidade, durabilidade e reversibilidade.

Num projeto de reabilitação, podem distinguir-se dois tipos de ações: ações de reparação/consolidação e ações de reforço. Na implementação destas técnicas, é preferível a utilização de técnicas tradicionais. Caso sejam aplicadas técnicas modernas, estas devem ser bem ponderadas tendo sempre em consideração a compatibilidade de materiais.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **3 TÉCNICA DE REBOCO ARMADO**

### **3.1 Considerações gerais**

A aplicação da técnica de reboco armado no reforço de paredes de edifícios antigos é uma solução bastante recorrente nos dias de hoje. No século passado, por volta dos anos setenta já se procedia ao reforço dos edifícios com a aplicação de armaduras nos rebocos. Em Itália, após o sismo de Friuli, ocorridos em 1976, esta técnica foi bastante utilizada na reabilitação das construções. Também nos Açores, após a ocorrência de um sismo perto de Angra do Heroísmo em 1980 e mais tarde no Faial em 1998, a técnica foi largamente aplicada no reforço de paredes resistentes de alvenaria (Manzoni et al., 2008).

As ações sísmicas, assim como os movimentos diferenciais das fundações, contribuem para a presença de anomalias nas construções de pedra tradicional. A aplicação da técnica de reboco armado nestas construções revela um elevado potencial no seu reforço, controlando os problemas relacionados com a fendilhação (Appleton, 2011).

Depois de nomeadas e definidas as soluções de consolidação e reforço mais utilizadas em edifícios antigos, apresenta-se nesta secção a caracterização pormenorizada da temática que é objeto de estudo desta dissertação, a técnica de reboco armado. Neste capítulo, serão abordados os principais materiais constituintes da técnica, a argamassa e a armadura de reforço, especificando quais os tipos de argamassas e armaduras que podem ser utilizados.

### **3.2. Caracterização pormenorizada**

Para a caracterização desta técnica, é importante identificar os diversos materiais que podem ser aplicados. Esta solução combina essencialmente dois materiais, a argamassa de revestimento e a armadura de reforço. Tanto a argamassa como a armadura podem ser de diferentes materiais e dependendo do tipo de reforço pretendido podem ser combinados de diferentes formas. Devido à grande variedade de combinações, tornando-se imprescindível a identificação e análise das diferentes soluções possíveis e em que situações devem ser aplicadas.

A técnica de reboco armado pode ser aplicada com a finalidade de aumentar a capacidade resistente da parede aos diversos esforços (compressão, tração, flexão, corte, etc.) a que está sujeita, mas também como controlo da fendilhação da argamassa por retração. Neste último caso, o reboco armado é aplicado com o objetivo de regularizar, impermeabilizar e permitir uma aspeto de acabamento liso, sendo que a armadura utilizada tem apenas a finalidade de controlar a fendilhação por retração da argamassa. Este tipo de reboco também contribui para um melhoramento da resistência à penetração da água (Appleton, 2011).

Esta técnica consiste na aplicação de uma camada de argamassa sobre a parede a reforçar, geralmente com espessuras entre 2 a 3 cm, conjuntamente com uma armadura de reforço. Usualmente utiliza-se como armadura de reforço, malhas de aço eletrossoldado ou de metal distendido, redes poliméricas e malhas de fibra de vidro, sendo estas fixas à parede com intermédio a

pregagens, conectores metálicos ou fixadores. Estas fixações garantem uma correta fixação da rede à parede da alvenaria. Quando aplicada com o objetivo de aumentar a capacidade resistente da parede, pode ser realizada em ambas as faces das paredes, e ligadas entre si por um conjunto de elementos que possibilitam a solidarização das lâminas de argamassa, minimizando a possibilidade de ocorrência da desagregação da alvenaria. Este método origina uma nova seção transversal que visa o melhoramento da ligação entre paredes, a resistência ao corte e a ductilidade da estrutura. (Costa et al., 2004) (Costa & Ripper, 2005).

O recurso a outros métodos de reforço, tais como as pregagens e conectores metálicos, aplicados conjuntamente com a técnica de reboco armado, permitem a complementar a solução, obtendo-se um reforço estrutural ainda mais eficaz e uma melhoria no comportamento global da construção (Maurício, 2010).

Esta técnica distingue-se da técnica de execução de lâmina de betão, quer por recorrer a menores espessuras de revestimento, quer por adotar materiais diferentes. As lâminas de betão armado podem apresentar espessuras entre 8 e 20 cm. Adicionalmente, nos rebocos armados são adotadas argamassas e normalmente as armaduras são mais ligeiras, enquanto nas lâminas de betão o material de revestimento é um betão. Quando as argamassas utilizadas permitem obter resistências muito elevadas são por vezes denominadas de microbetão, pois foram desenvolvidas para conferir reforço mecânico. As espessuras das lâminas de microbetão podem variar entre os 5 e 10 cm.

### **3.2.1 Argamassa de revestimento**

Quando se procede à intervenção de um edifício antigo, a primeira opção a ter em conta deverá ser a conservação dos revestimentos existentes e for seja necessário, proceder a reparações pontuais. Caso se trate de um edifício com valor histórico, os revestimentos devem ser conservados mesmo que seja necessário a execução de operações de consolidação (Rodrigues, 2004) (Veiga, 2003).

A utilização da técnica de reboco armado não permite a conservação do revestimento existente, sendo necessária a remoção total do mesmo. Neste caso devem escolher-se argamassas adequadas a esse uso específico para que se verifiquem determinados requisitos funcionais e estéticos. Para a seleção da argamassa a aplicar no suporte, é necessário a realização de um estudo prévio de compatibilidade, tendo em conta as características do suporte, o tipo de edifício e a sua época de construção, o clima da região e as condições ambientais a que está sujeito. O tipo de armadura de reforço que se pretende utilizar na técnica também poderá influenciar na escolha da argamassa, uma vez que esta pode sofrer corrosão em contato com certas argamassas (Veiga, 2003).

As argamassas para revestimentos de paredes antigas devem satisfazer várias exigências funcionais relacionadas com a aderência, a impermeabilização, a retração, a capilaridade, a permeabilidade ao vapor, a resistência à ação de sais solúveis e de fenómenos gelo-degelo e o especto visual (Rodrigues, 2004).

O aspeto relacionado com a aderência da argamassa ao suporte é importante, tanto do ponto de vista do estrutural, como de durabilidade da alvenaria. Existem diversas ações que podem provocar a

desagregação ou destacamento da argamassa, tais como as diferentes variações de retração ou compressão verificadas entre a argamassa e o suporte, as ações mecânicas e de choque, etc. Para além destas ações, a condições em que se encontra o suporte antes da aplicação da argamassa que se prendem com a sua limpeza, o seu teor de água, assim como o grau de humidade do ar, também irão influenciar na aderência (Rodrigues, 2004).

A argamassa deve limitar a quantidade de água que atinge o suporte, para isso, a sua espessura deverá ser a suficiente para que constitua uma barreira à penetração de água e que, ao mesmo tempo, seja pouco suscetível à fendilhação. Nos rebocos tradicionais estes requisitos são conseguidos com a aplicação de três camadas de reboco distintas, sendo elas o crespido, camada de base e camada de acabamento. Da primeira camada a aplicar, o crespido, à última, camada de acabamento, a resistência mecânica deve ser decrescente. Este decréscimo pode ser alcançado através da diminuição do teor de ligante utilizado, possibilitando, desta forma, que a microfissuração seja menos expressiva nas camadas exteriores. A aplicação destas três camadas distintas irá permitir que quando ocorra a microfissuração do revestimento, esta seja individualmente em cada camada, não havendo correspondência entre camadas adjacentes, dificultando a passagem da água ao longo da espessura da parede (Figura 14) (Rodrigues, 1993) (Rodrigues, 2004) (Veiga & Faria, 1990) (Sichels, 1981).

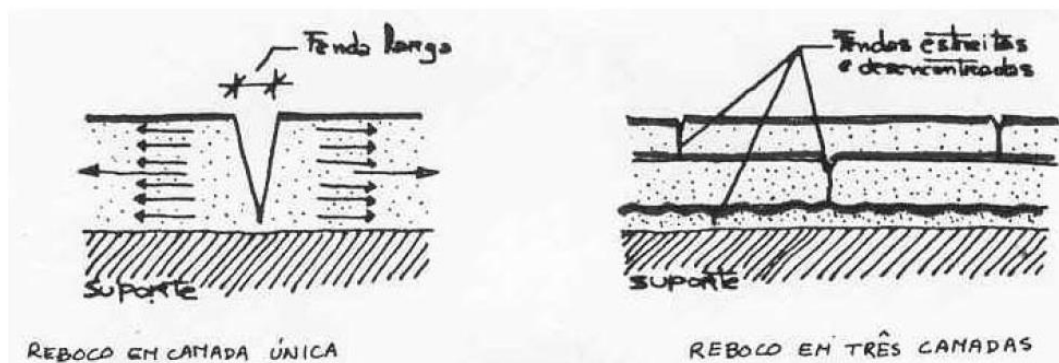


Figura 14 - Retração em rebocos constituídos por uma e três camadas (Rodrigues, 1993).

Existem vários condicionantes que afetam a argamassa ao nível da sua resistência e que são importantes ter em consideração. Na escolha do tipo de argamassa a aplicar num dado paramento deve ser feita uma análise em relação aos seguintes aspetos da argamassa: a permeabilidade ao vapor de água; a suscetibilidade à fendilhação; a resistência aos sais solúveis; a capacidade de absorção de água e a resistência mecânica.

Quando ocorrem períodos de chuva, uma porção da água que atinge o revestimento tende a ser absorvida por capilaridade e, mais tarde, a evaporar durante o período de endurecimento. O revestimento deve permitir que este absorva até um certo limite de quantidade de água, de modo a que entre dois períodos de chuva, esta evapore antes de atingir o interior do edifício. A permeabilidade ao vapor de água define-se como o fluxo de vapor que atravessa a argamassa, por

unidade de superfície e pressão de vapor. Nos revestimentos a permeabilidade ao vapor de água deve permitir a evaporação da água que se introduziu por capilaridade e evitar a ocorrência de condensações no interior da alvenaria (Rodrigues, 2004) (EMOlico, n.d.).

A suscetibilidade à fendilhação das argamassas depende de vários fatores relacionados relacionadas com a retração da argamassa, o seu módulo de elasticidade e a resistência à tração. As argamassas devem conseguir neutralizar as tensões e movimentos a que estão submetidos evitando a ocorrência da fendilhação (Rodrigues, 2004).

Na reabilitação de edifícios antigos, as argamassas de substituição devem apresentar uma boa resistência aos sais solúveis uma vez que neste tipo de edifícios, as paredes são constituídas por elevado teor destes sais. A consequência verificada com a baixa resistência aos sais prende-se com a maior suscetibilidade de desagregação da superfície da parede que decorre das tensões a que fica sujeita durante o crescimento dos cristais (Rodrigues, 2004).

Os ciclos gelo/degelo são um processo caracterizado pela alteração dos estados físicos da água que se encontra no interior da argamassa. A passagem do estado líquido para o estado sólido, devido à diminuição da temperatura, provoca o aumento de volume da água que irá desencadear tensões na argamassa. Assim como na cristalização de sais no interior da argamassa, o gelo/degelo provoca a fendilhação da argamassa. Para evitar este efeito, as argamassas devem apresentar uma absorção de água baixa e, contrariamente, uma elevada resistência mecânica. Também o aspeto estético e o acabamento da argamassa são importantes e devem ser tidos em consideração. Estes aspetos são influenciados pela dosagem dos seus constituintes, pela forma como é preparada e pelas condições em que é aplicada em obra (Rodrigues, 2004).

Os tipos de argamassa mais utilizados para o revestimento de edifícios antigos são: argamassas de cimento, argamassas de cal hidráulica, argamassas bastardas de cal aérea e cimento, argamassas industriais e argamassas de cal aérea com aditivos (Maurício 2010) (Veiga, 2003).

Existem alguns convenientes e inconvenientes na escolha de alguns destes tipos de argamassa. Em relação às argamassas de cimento, estas apresentam como vantagens uma presa rápida e elevadas resistências mecânicas iniciais, e como inconvenientes um aspeto muito diferente do que seria obtido com as argamassas idênticas às existentes dos suportes antigos. As argamassas de cimento Portland são constituídas por sais solúveis. Estes sais em contato com a parede são conduzidos para o interior da alvenaria acabando por cristalizar. O aumento de volume no processo de cristalização promove a fendilhação e a desagregação da alvenaria. A sua rigidez excessiva e uma capacidade limitada em deixar secar as paredes também são outros dos inconvenientes das argamassas de cimento (Appleton, 2010).

As argamassas de cal aérea apresentam uma composição mais idêntica às argamassas antigas, diminuindo a ocorrência de problemas relacionadas com a compatibilidade dos materiais. Para além disso, apresentam uma alta retenção de água, boa trabalhabilidade, elevada porosidade e permeabilidade ao vapor de água e uma boa compatibilidade mecânica e química com os suportes.



No entanto, quando expostas à água da chuva e ao gelo, a sua durabilidade fica condicionada. Este tipo de argamassas apresenta uma resistência inferior (Maurício 2010).

De forma a combater os inconvenientes verificados nas argamassas à base de cimento e a conseguir obter uma maior resistência uma maior compatibilidade, surgiram as argamassas bastardas. Estas argamassas são uma junção das argamassas de cal com as de cimento (Roque & Lourenço, 2002).

Por fim, as argamassas industriais são argamassas fabricadas em fábrica de forma rigorosa e controlada. Em obra basta adicionar água, no caso das argamassas secas, ou apresenta-se pronta a aplicar, no caso das argamassas estabilizadas. Devido ao controlo realizado em fábrica, estas argamassas apresentam uma elevada eficácia. Existem diversos tipos de argamassa industriais com diversas composições e que vão de encontra às necessidades atuais verificadas nas construções em função do objetivo pretendido (Rodrigues, 2004) (Veiga, 2003).

### 1. Rebocos tradicionais

O reboco tradicional consiste numa mistura doseada e preparada em obra, formada basicamente por um ligante de cal e areia, às quais, se podem adicionar outras matérias, como o cimento e adjuvantes. O reboco tradicional pode ser denominado de reboco corrente, caso seja constituído por cal ou cimento, reboco tradicional quando é constituído só por cal, e por argamassa estabilizada quando é adicionado um adjuvante retardador de presa, ou eventualmente outros adjuvantes, como por exemplo, introdutores de ar. Na Figura 15 está representado um esquema síntese dos rebocos tradicionais.



Figura 15 - Esquema síntese dos rebocos tradicionais (Silva, 2008).

Na realização de rebocos tradicionais para revestimento de paredes de edifícios antigos, são necessárias três camadas distintas, crespido, camada de base e camada de acabamento. De seguida

será explicado com melhor pormenor as funcionalidades e as especificidades de cada camada (Veiga & Faria, 1990).

#### Crescido (salpico, chapisco)

O crescido destina-se a assegurar a aderência do revestimento ao suporte e a reduzir a tendência que se verifica do suporte para absorver a água presente nas argamassas de revestimento. Esta camada deve ser descontínua com uma espessura não uniforme e a sua superfície deve ser rugosa para proporcionar boa aderência à camada seguinte. A sua espessura deve variar entre 3 a 5 mm.

Se a argamassa usada for fortemente doseada em cimento, para obter uma boa aderência ao suporte, deve ser fluida de forma a satisfazer a sucção do suporte sem que as reações de hidratação do cimento sejam prejudicadas por carência de água.

#### Camada de base (emboço, regularização)

Esta camada tem como objetivo conferir planeza, verticalidade e regularidade superficial dos paramentos das paredes. A camada de base contribui para a impermeabilização das paredes e proporciona uma boa aderência à camada de acabamento. Deverá ser compacta, homogénea e com fraca tendência para a fendilhação.

A estrutura final desta camada deverá ser rugosa para conferir uma boa aderência à camada seguinte e pode ser obtida através do próprio processo de aplicação ou posteriormente por raspagem do paramento. A sua espessura deve variar entre 10 a 15 mm.

#### Camada de acabamento

A sua funcionalidade prede-se principalmente por razões estéticas, mas contribui, também, para a impermeabilização e resistência aos choques da parede. Esta camada também deverá preencher as eventuais fendas que se formaram na camada de base. O teor de ligante presente nesta camada deverá ser baixo para evitar que fendilhe e sua espessura deve variar entre 5 a 10 mm.

## **2. Rebocos industriais**

Os rebocos industriais são realizados com argamassas industriais que consistem numa mistura de pó pré-doseada em fábrica a que, em obra, apenas haverá que adicionar a quantidade de água de amassadura especificada na própria embalagem de comercialização. São, portanto, produtos que tentam manter as características das argamassas convencionais e proporcionam condições para que desapareçam os problemas relacionados com a falta de mão-de-obra qualificada (Pinho, 2000).

Por volta da década de 60, as crescentes exigências de qualidade e rapidez na execução dos trabalhos em obra na Europa Central conduziram à progressiva substituição das argamassas preparadas em obra por argamassas feitas em fábrica (argamassas industriais), surgindo deste modo as primeiras fábricas de produção. Em Portugal, a partir da década de 90 ocorreu um aumento no fabrico das argamassas industriais, incluindo as concebidas para reboco. Devido, não só à concorrência de mercado, mas também das largas vantagens que decorrem do uso destes materiais

industriais, especialmente no âmbito da reabilitação, a utilização deste tipo de argamassas e respetivo desenvolvimento científico por parte dos fabricantes, tem evoluído notavelmente desde o início do novo milénio. Algumas das principais vantagens das argamassas industriais são o rigor no estudo da sua composição, o rigor na sua produção em fábrica, o reduzido desperdício, melhores condições de conservação e proteção e a garantia de qualidade. Como principal desvantagem aponta-se o facto de existir segredo industrial sobre as composições e dosagens utilizadas (Duarte, 2007) (Veiga, 2006) (Paulo, 2006) (APFAC, 2008) (Faria et al., 2005).

Existe atualmente falta de especialização e conhecimento das técnicas tradicionais associadas a rebocos de cal, o que poderá por em risco a compatibilização do novo reboco com os materiais antigos. As argamassas industriais, não garantem o sucesso na substituição de rebocos antigos, no entanto é mais provável o seu alcance, dadas as características, o controlo e rigor destes produtos que dificilmente são atingidas em argamassas convencionais produzidas em obra.

Dos rebocos realizados com argamassas industriais, os mais utilizados em Portugal são os rebocos do tipo monocamada. Este tipo de reboco permite desempenhar numa só camada as três camadas tradicionais. Se forem aplicados por projeção, tornam-se numa solução muito rápida e, por isso, este método tem ganhado uma preferência por parte dos empreiteiros, que hoje em dia necessitam de soluções cada vez mais fáceis e práticas de aplicar. Este tipo de revestimento permite um acabamento pigmentado, através da introdução de pigmentos, permitindo obter um acabamento e decoração dos paramentos. Estas argamassas contêm adjuvantes retentores de água e plastificantes que ajudam a evitar, no caso de adicionada água em excesso, baixa compacidade e resistência e elevada permeabilidade por capilaridade e, no caso de água adicionada por defeito, deficiente trabalhabilidade e fraca aderência ao suporte. Quando estas argamassas permitem obter resistências muito elevadas são por vezes designadas de microbetões, pois foram desenhadas para conferir reforço mecânico (APFAC, 2008).

### **3.2.2. Armadura de reforço**

Existem hoje em dia vários tipos de armadura de reforço. As malhas de aço eletrossoldado e de aço distendido foram os primeiros tipos de malhas utilizados no reforço de paredes de alvenaria, mas com o desenvolvimento da tecnologia começaram a surgir armaduras sintéticas como as redes de fibra de vidro ou poliméricas.

A grande variedade de tipos de armaduras com diferentes materiais, espessuras e dimensões, possibilitou a escolha da armadura em função dos aspetos que se pretendiam obter, tais como, a durabilidade, dimensão da malha, resistência à tração e até a espessura de argamassa por unidade de superfície. Devido à compatibilidade entre o material utilizado para a armadura de reforço e para a argamassa de revestimento, a escolha de um é indissociável da escolha do outro. De seguida são enumerados e detalhados os vários tipos de armadura utilizados no reforço de paredes de edifícios antigos, utilizando a técnica de reboco armado (Papanicolaou et al., 2011).

#### **i. Rede de aço**

As redes de aço são, hoje em dia, muito utilizadas no reforço de paredes de alvenaria. Estas redes podem ser malhas de aço eletrossoldada de malha quadrada ou malhas de aço (Figura 16). Uma vez que o aço, quando não protegido, sofre facilmente de corrosão, estas armaduras devem ser de aço inoxidável (Appleton et al., 2002).

Na aplicação deste tipo de redes, é importante garantir uma correta fixação ao suporte. Para tal são colocados elementos de ancoragens tais como buchas, fixadores metálicos, pregos, varões, parafusos ou agrafos. Estes são inseridos na alvenaria e fixados à rede e são normalmente de aço inoxidável ou galvanizado. Durante o seu processo de fixação, deve ser garantido um espaçamento adequado entre elementos, sendo que este espaçamento depende do tipo de rede utilizada. Nas redes mais rígidas serão necessários colocar mais elementos de ancoragens, com menores espaçamentos entre si, comparativamente com as redes mais leves. As faixas contíguas da rede devem sobrepor-se em pelo menos 30 mm e serem unidas entre si por amarrações de arame de aço galvanizado. Todos estes requisitos são essenciais para garantir uma correta colocação da rede e, conseqüentemente, uma solução de reboco armado eficaz (Appleton et al., 2002) (Costa et al., 2010).



(i)



(ii)

**Figura 16 - (i) Malha de aço distendido; (ii) Malha de aço eletrossoldada.**

Comparativamente às redes sintéticas, este tipo de rede é mais pesada e, por isso, a sua aplicação é mais difícil e requer um maior cuidado na sua colocação, tendo especial atenção na garantia de uma boa ligação rede-suporte. Também é importante referir que é necessário um cuidado acrescido na garantia do recobrimento uniforme da rede, devido ao facto da elevada espessura do diâmetro do fio que estas malhas apresentam comparativamente às outras, evitando a longo prazo problemas de durabilidade (Costa et al., 2010).

Por fim, é necessário ter em conta que o uso de armaduras metálicas não é compatível com a utilização de argamassas de cal aérea. Para além de apresentarem resistências muito distintas, existe um elevado risco de corrosão da armadura de aço, afetando a durabilidade da solução. Estas condicionantes podem ser diminuídas se foram utilizadas argamassas bastardas de cal e cimento Portland ou argamassas à base de cimento Portland. (Dawood & Ramli, 2011) (Hejazi et al., 2011).

## ii. Rede polimérica – Sistema *Richtergard*

O sistema *Richtergard* consiste na aplicação de uma rede polimérica rígida e de uma argamassa de reboco à base de cal (Figura 17). Esta rede é maleável e não altera, significativamente, a geometria e do peso original do suporte. Como principais vantagens este sistema oferece um elevado nível de proteção antissísmica, uma redistribuição das forças dinâmicas, adaptabilidade a diferentes formas do edifício, rapidez de instalação e reduzida perturbação local durante a realização das intervenções. Na aplicação desta rede devem ser introduzidos elementos que a fixam ao suporte, conectores, para garantir a correta fixação da rede e um adequado confinamento da alvenaria. O desempenho deste tipo de solução, também está relacionado com as propriedades intrínsecas dos materiais que constituem a malha, como a sua dimensão e forma, e da interação verificada entre a alvenaria e a rede, através da argamassa (Sofronie, 2005) (Pedra & Cal, 2006).



(i)



(ii)

Figura 17 - (i) Sistema *Richtergard*: rede polimérica, pregos de montagem e reboco (Pedra & Cal, 2006); (ii) Instalação do sistema *Richtergard*: montagem da rede polimérica e aplicação do revestimento (Pedra & Cal, 2006).

## iii. Redes de fibras

Atualmente, é comum o uso de compósitos, tais como FRPs (*Fiber Reinforced Polymer*), para fortalecer e reabilitar estruturas de alvenaria. Estes compósitos são feitos de uma matriz e fibras. As peças da FRP são leves, não corrosivas, exibem alta resistência e rigidez específica, são facilmente construídas e podem ser adaptadas para atender aos requisitos de desempenho. Devido a essas características vantajosas, os compósitos FRP foram incluídos em novas construções e reabilitações de estruturas através de seu uso como reforço de elementos de betão, pontes, estruturas modulares, cofragens e reforço externo melhoramento sísmico (Pedra & Cal, 2006) (Jain & Lee, 2012).

Embora as soluções usando FRPs sejam muito eficientes para o betão, para as construções de alvenaria, o comportamento não é o mesmo. As matrizes de epóxi não são compatíveis com o substrato de alvenaria e as fibras normalmente utilizadas, são demasiado rígidas. Este problema pode ser resolvido usando o sistema TRM (*Textile Reinforced Mortar*). Este sistema substitui a matriz

de epóxi por uma matriz inorgânica, que é fisicamente e quimicamente mais compatível com as alvenarias (Raouf et al., 2017).

Comparativamente com as redes de aço, este tipo de redes apresenta um baixo custo de instalação, boa resistência à tração, boa resistência à corrosão e uma elevada durabilidade. Por serem leves, estas redes são facilmente transportes e aplicadas em obra (Maurício 2012).

Dentro das redes de fibras, as mais utilizadas são as de vidro, basalto, aramida e carbono. Para que o reforço utilizando este tipo de fibras seja eficaz, é necessário garantir alguns aspetos e requisitos. As redes de fibras devem apresentar um módulo de elasticidade superior ao da argamassa, uma boa adesão das fibras ao ligante, elevada resistência à fadiga e uma alta tenacidade. Também estas redes devem apresentar pontos de ancoragens que a ligam ao suporte. Neste caso, são aplicados conectores de um material idêntico ao da rede, leves e fáceis de aplicar (Garcia, 2009) (Maurício, 2012).

As redes de fibra de vidro são as mais utilizadas nos sistemas TMR. Estas redes são muito utilizadas para melhorar a resistência à fendilhação dos revestimentos, tanto por constituírem um reforço, levando o revestimento a funcionar como um compósito, quer pela sua capacidade de redistribuição das tensões, reduzindo o efeito de concentração de tensões nas eventuais fendas da base. Nas fibras de vidro são utilizados, essencialmente, a fibra do tipo E e a fibra do tipo AR. O primeiro tipo de fibra apresenta uma inadequada resistência ao meio alcalino da matriz de cimento Portland, verificando-se inconvenientes relacionados com a perda de flexibilidade e de resistência à tração da fibra. Para evitar este tipo de problemas, a fibra do tipo E, deve ser revestida em cloreto de polivinila (PVC). A sua aplicação numa solução de reboco armado constituída por uma argamassa à base de cimento Portland não é aconselhada. É preferível a utilização de argamassas com baixo teor de cimento, tais como as argamassas de cal aérea ou bastardas. Relativamente às fibras do tipo AR, estas apresentam elevada resistência aos álcalis, conseguida pela presença de óxido de zircónio e por isso, não necessitam de um revestimento de proteção como no caso das fibras do tipo E. Apesar das vantagens verificadas, estas fibras apresentam um custo muito superior às do tipo E (Dawood & Ramli, 2011) (Hejazi et al., 2011) (Figueiredo, 2011) (Paradela & Aguila, 1992).

As fibras de basalto apresentam um desenvolvimento mais recente se comparadas com as fibras de vidro e de carbono. Apresentam também maior temperatura de trabalho, boa resistência química, ao impacto e à fadiga, e menor libertação de gases na queima. A aplicação deste tipo de fibras é possível em diversas áreas, graças a suas múltiplas boas propriedades. Apresentam excelente resistência à ação de álcalis, propriedades semelhantes às fibras de vidro, no entanto exibem de um módulo de elasticidade superior. Comparando com as redes aço, as fibras de basalto uma superior tenacidade, e comparando com as fibras de carbono e aramídicas, estas fibras apresentam um custo muito menor. Devido às suas propriedades térmicas, estas fibras tornam-se excelentes substitutas de fibras resistentes a altas temperaturas (Garcia, 2009) (Lapena et al., 2012).

Em relação às fibras aramídicas, estas apresentam um módulo de elasticidade longitudinal e uma resistência à tração muito superiores às verificadas noutros tipos de fibras sintéticas e orgânicas.

Estas fibras são produzidas através da trefilagem de poliamidas aromáticas (benzeno). Algumas das suas desvantagens são o seu custo relativamente elevado, superior ao verificado nas fibras de vidro e basalto. Estas fibras absorverem a humidade, e portanto, é necessário um cuidado acrescido em relação ao seu armazenamento enquanto não são impregnadas (Juvandes et al., 1996).

As fibras de carbono são dotadas de um elevado módulo de elasticidade, um bom comportamento à fadiga e uma elevada resistência à tração. Comparando com os outros tipos de fibras descritos, as fibras de basalto exibem de melhores propriedades físicas. No entanto algumas das desvantagens destas fibras prendem-se com o seu elevado custo de aquisição que acaba por ser verificar superior ao das argamassas aplicadas na solução. Uma solução com este tipo de fibra tornando-se, muitas das vezes, inviável uma vez que, nos sistemas TRM os preços das fibras não devem ser superiores aos da argamassa (Garcia, 2009) (Lapena et al., 2012).

#### iv. Outros tipos de fibras

As fibras de coco, sisal ou celulose são outros tipos de fibra existentes no mercado. No entanto em relação aos aspetos relacionados com a durabilidade estas apresentam alguns problemas. As fibras de amianto são hoje em dia, proibidas em Portugal. Estas fibras exibem inconvenientes ecológicos e de saúde pública (Juvandes et al., 1996) (Filho et al., 2004) (Dias et al., 2010).

Na Tabela 1, faz-se a comparação das principais características dos diferentes tipos de fibras descritos anteriormente.

**Tabela 1 - Características principais das fibras** (PrinceEngineering, n.d.).

Material de reforço	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento último (%)
Fibras de vidro	480-1600	35-51	1.2-3.1
Fibras de basalto	1035-1650	45-59	1.6-3.0
Fibras de aramida	1720-2540	41-125	1.9-4.4
Fibras de carbono	1720-3690	120-580	0.5-1.9

### 3.2.3. Técnicas de aplicação

Uma solução de reboco armado requer, cuidados que deverão ser tidos em conta durante o seu processo de execução, para que se obtenham os resultados desejados. Antes de ser aplicada, deve ser realizada a extração integral do reboco antigo e também da espessura do suporte que se encontra significativamente degradada. Antes da aplicação do crespido pode ser aplicado um primário. O primário melhora a resistência mecânica do suporte à superfície, irá uniformizar o grau de absorção de água do suporte e promover a melhoria das condições de aderência. Se for aplicado um primário, a execução do novo revestimento deve iniciar-se imediatamente a seguir, antes que o primário seque.

A aplicação da argamassa de revestimento pode ser realizada de duas formas distintas, ou manualmente ou por projeção. A forma como é aplicada a argamassa depende de vários fatores, tais como, o tipo de reboco que se pretende obter, a camada que está a ser realizada e o tipo de armadura que é utilizado. De seguida são explicadas, em pormenor, apenas algumas das técnicas de execução de rebocos armados utilizados na reabilitação de edifícios. Em qualquer uma das técnicas será sempre realizado o crespido.

O crespido deve ser realizado a partir de uma argamassa bastante fluida de cimento e areia siliciosa fina. O traço volumétrico cimento: areia deve situar-se entre 1:1,5 e 1:2. A argamassa de crespido pode ser aplicada manualmente ou por projeção mecânica e deve ser realizada de modo que da sua aplicação resulte um paramento rugoso. Esta camada deve ser leve e periodicamente pulverizada com água, para que seja garantida a sua correta cura. Em qualquer uma das técnicas de aplicação de reboco armado de seguida descritas, é necessário a realização do crespido (Appleton et al., 2002).

## **A) Reboco tradicional armado com malha de aço distendido**

### **A1) Aplicação da armadura**

Depois da realização do crespido e antes da aplicação da armadura de aço, os espaçamentos das ancoragens devem ser definidos. Estes espaçamentos dependem, essencialmente, da rigidez da armadura.

A aplicação da rede deve ser realizada após a execução das furações e da colocação das ancoragens. A aplicação da rede ser realizada por dois operários, por forma a que enquanto um estica a rede ao longo do paramento, o outros vai fixando-a nas ancoragens realizadas. Existem zonas que requerem particular cuidado na aplicação da rede, nomeadamente nas zonas entre pavimentos e tetos e entre paredes ortogonais. Nestas zonas a zona de sobreposição da rede deve ser superior. Entre as várias fiadas de rede, é de extrema importância garantir uma zona de sobreposição adequada, para que a eficácia da solução não fique comprometida (Appleton et al., 2002).

### **A2) Realização da camada de base**

Para completa incorporação da armadura, é geralmente necessária a aplicação de duas camadas de base. Estas camadas devem ser executadas com argamassa de cimento, cal apagada e areia, ou de cimento e areia. A argamassa de cimento (e eventualmente também a argamassa de cimento e cal apagada) poderá ter que ser adjuvada com um plastificante, para que adquira trabalhabilidade que torne viável, ou facilite, a sua aplicação (Appleton et al., 2002).

Na aplicação da primeira camada de base, a argamassa deve ser lançada vigorosamente sobre o suporte para que esta consiga penetrar através da armadura e aderir ao crespido. A forma como esta camada é aplicada também deve garantir boa aderência da segunda camada de base. Esta segunda camada deve ser aplicada com colher, sem ser apertada e garantindo que a armadura fique bem incorporada e recoberta. Em princípio a camada não necessitará de ser alisada, a menos que a rugosidade de superfície resultante da sua aplicação seja excessivamente pronunciada, face à



espessura preconizada para a camada de acabamento. A espessura da primeira camada de base, assim como da segunda, deverá ser da ordem dos 10 mm (Appleton et al., 2002).

### **A3) Realização da camada de acabamento**

A camada de acabamento deve ser executada com argamassa de cimento e reia, ou de cimento, cal apagada e areia, com correspondência com o tipo de argamassa que foi utilizado nas camadas de base. Para que seja possível ou viável a sua aplicação a argamassa de cimento (e eventualmente também a argamassa de cimento e de cal apagada) desta camada deve ser adjuvada com um plastificante. A espessura da camada deve situar-se entre 5 e 10 mm, de modo que a espessura total do reboco armado seja da ordem dos 30 mm.

### **B) Reboco industrial monocamada armado com rede de fibra de vidro**

Este tipo de reboco é aplicado por projeção mecânica, em duas camadas, do produto de revestimento depois de os suportes terem sido consolidados com o primário e tratados com o crespido. A execução de rebocos industriais monocamada não necessita de três camadas distintas como nos rebocos tradicionais e, por isso, a sua realização é mais simples e prende-se nos seguintes passos (Appleton et al., 2002).

**B1)** Aplicação por projeção mecânica, da primeira camada do produto de revestimento.

**B2)** Colocação da rede de fibra de vidro sobre a primeira camada do revestimento, estando esta ainda fresca. A rede deve ser levemente pressionada, por exemplo com talocha de madeira ou com escova, para que fique ligeiramente incorporada na primeira camada da argamassa.

**B3)** Aplicação por projeção mecânica da segunda camada de argamassa logo a seguir à colocação da rede e antes que a camada anterior endureça.

### **C) Reboco industrial monocamada armado com malha de aço distendido**

Este tipo de revestimento é executado de modo semelhante aos revestimentos industriais monocamada armados com rede de fibra de vidro. No entanto, neste caso, a malha é fixada ao suporte antes do início da aplicação do produto de revestimento, depois do suporte ter sido preparado com o primário e crespido (Appleton et al., 2002).

**C1)** Colocação e fixação da malha de aço distendido sobre o crespido.

**C2)** Aplicação por projeção mecânica, da primeira camada do produto de revestimento. Esta camada deve ser apertada e alisada com régua de madeira, de modo a que, atravessando a armadura, atinja e adira ao suporte, e garantindo o recobrimento completo da armadura. A espessura mínima obtida para esta camada deve ser da ordem de 8 a 10 mm.

**C3)** Aplicação por projeção mecânica, da segunda camada do produto de revestimento logo depois do alisamento da primeira camada ou num prazo máximo de 2 a 5 h, sobre uma primeira camada já endurecida. A espessura desta camada deverá ser a necessária para que a espessura total do revestimento sobre a rede se situe entre 15 e 20 mm.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **4 TRABALHO DE CAMPO**

### **4.1 Considerações gerais**

O reboco armado apresenta vários desafios quando aplicado em paredes de edifícios antigos, exigindo a análise quanto à viabilidade das diversas soluções existentes. Desta forma, consoante a obra de reabilitação e a sua finalidade, deve-se recorrer à solução que melhor se ajusta aos condicionalismos presentes.

Nos capítulos anteriores, foi apresentado o estado da arte relativamente à reabilitação de edifícios antigos e realizada a caracterização pormenorizada da técnica de reboco armado. Nesses capítulos caracterizou-se o suporte deste tipo de edifícios e analisou-se os condicionalismos associados à sua reabilitação. Tratando-se de edifícios antigos existem exigências e princípios que devem ser assegurados. Na caracterização pormenorizada da técnica, descreveram-se e analisaram-se os diversos tipos de argamassa de revestimento e armaduras de reforço, e procurou-se exemplificar alguns dos métodos construtivos mais utilizados.

No presente capítulo, pretende-se averiguar como é caracterizada a técnica de reboco armado pelos Engenheiros Civis que no seu dia-a-dia de trabalho projetam, estudam e/ou aplicam em obra a técnica, e perceber se existe um consenso entre as diversas caracterizações e opiniões. Também se pretende perceber se essas opiniões vão ao encontro do que foi apresentado nos capítulos anteriores.

Esta análise foi também complementada com casos de estudo referentes a obras de reabilitação em que foi aplicada a técnica, procurando-se analisar, para diferentes casos de estudo, quais as razões que levam à adoção de uma determinada solução de reboco armado, em detrimento de outra, e possíveis vantagens e condicionantes associadas. Esta análise permitirá, também, verificar se os pressupostos teóricos são transpostos para o mercado da reabilitação e quais as principais técnicas utilizadas.

### **4.2 Metodologia do trabalho**

A metodologia utilizada no trabalho de campo consiste na realização de entrevistas a especialistas na área da reabilitação, que ao longo da sua carreira profissional trabalharam com a técnica de reboco armado através de projetos, estudos ou em trabalho de campo, e na procura e análise de casos de estudo, nomeadamente obras de reabilitação, em que o processo construtivo englobe a aplicação da técnica de reboco armado.

O trabalho de campo referente às entrevistas passou pela procura e contacto com Engenheiros Civis que tivessem a disponibilidade de serem entrevistados com o propósito de transmitirem os seus conhecimentos e as suas opiniões pessoais sobre a técnica. A realização de várias entrevistas tem como objetivo recolher as diferentes opiniões dos entrevistados e tirar conclusões relativamente à existência ou não, de um consenso e coerência sobre diversos aspetos relacionados com a técnica

de reboco armado. Para tal, procedeu-se à tentativa de se efetuar a todos os entrevistados as mesmas perguntas, sendo elas as seguintes:

- No que consiste a técnica de reboco armado?
- Qual a principal função da técnica de reboco armado?
- Em que edifícios esta técnica é maioritariamente aplicada, antigos ou novos?
- Quais os principais aspetos a ter em conta na escolha dos materiais (argamassa e armadura)?

Foram realizadas várias tentativas de contacto com Engenheiros Cívicos para a realização de uma entrevista mas apenas algumas delas foram efetuadas com sucesso. Após a realização das entrevistas nem todas serão publicadas por falta de informação relativamente à técnica em questão, sendo que no total serão apenas cinco as entrevistas publicadas. Durante as entrevistas, nem sempre foram efetuadas diretamente as perguntas acima descritas, dado que, os entrevistados ao desenvolver a sua opinião relativamente ao tema, iam respondendo às questões.

Para a elaboração dos casos de estudo procuraram-se reunir obras de reabilitação, de preferência de edifícios antigos, decorridas ou que estivessem a decorrer, em que tivesse sido aplicada ou estivesse prevista ser aplicada, alguma solução de reboco armado, com o intuito de analisar as diferentes metodologias utilizadas, assim como as diferentes finalidades que lhe estão associadas. Foi possível reunir a informação necessária para descrever quatro casos de estudo.

Numa primeira tentativa procedeu-se ao envio de mensagem via e-mail a diversas empresas de Construção e de Projetos mas, no entanto, o número de respostas obtidas foi nulo. Posteriormente foram novamente efetuadas tentativas de contato, pela mesma via, a quatro empresas sugeridas por alguns professores do Instituto Superior Técnico, tendo-se obtido resposta de todas. As várias empresas disponibilizaram-se para fornecer documentação, nomeadamente projetos de estruturas, memórias descritivas, etc., relativas a obras de reabilitação que efetuaram ou estão a efetuar. Infelizmente nem todas as empresas se disponibilizaram para o esclarecimento de dúvidas, ou para fornecer informações adicionais essenciais para descrição do caso de estudo e, por isso, nem todos os casos de estudo inicialmente disponibilizados serão alvo de estudo. Também, por vezes, algumas das obras de reabilitação fornecidas, não continham no seu método de intervenção uma solução com reboco armado mas sim outras soluções semelhantes com microbetão armado.

Um dos casos de estudo teve origem na realização de uma visita de estudo. Esta visita foi efetuada pelos estudantes de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico que se encontravam inscritos à cadeira de Patologia e Reabilitação de Edifícios no ano letivo 2017/2018, e foi realizada com o consentimento do docente da cadeira. Durante a visita, surgiu a oportunidade de contactar o Engenheiro que tinha a função de planear, coordenar, fiscalizar e controlar a qualidade da obra, sendo que este se disponibilizou para a realização de uma reunião. Nessa reunião o Engenheiro explicou o processo construtivo de algumas das técnicas que foram aplicadas na obra e ainda disponibilizou alguma documentação relativa ao projeto de reabilitação.

O trabalho de campo recaiu também na recolha de casos de estudo relativos a obras de reabilitação que não incidissem sobre edifícios, mas também em Obras de Arte, como pontes ou túneis, com o objetivo de analisar as possíveis diferenças existentes no processo construtivo da técnica de reboco armado e, por isso, um dos casos de estudo analisados incide sobre a reabilitação e reforço de uma pequena ponte.

### **4.3 Entrevistas**

Foram efetuadas várias entrevistas a Engenheiros Cívicos que se encontravam, nesse momento, a trabalhar na área, sendo que cinco dessas entrevistas se encontram descritas de seguida e os entrevistados são os seguintes:

- entrevista ao Engenheiro Luís Mateus;
- visita à empresa H tecnic para entrevista aos Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro;
- visita à empresa A2P para entrevista ao Engenheiro Vasco Appleton;
- entrevista à Engenheira Rita Bento;
- entrevista ao Engenheiro Eduardo Monteiro.

As entrevistas têm como principal objetivo o conhecimento da opinião pessoal de cada entrevistado relativamente à técnica de reboco armado. Foram colocadas algumas questões sobre a técnica, no entanto houve abertura para que os entrevistados abordassem o tema da forma que preferissem, permitindo que o tema fosse explorado de formas diferentes e que cada entrevistado transmitisse as suas ideias e opiniões livremente, não se focando apenas nas perguntas.

De seguida, é apresentado um resumo de algumas das entrevistas realizadas, onde se procederam a pequenas alterações ao nível do vocabulário e da narração possibilitando uma leitura e compreensão mais simplificada.

#### **4.3.1. Entrevista ao Engenheiro Luís Mateus**

A entrevista ao Engenheiro Luís Mateus realizou-se nas instalações do Instituto Superior Técnico no dia 11 de abril de 2018.

O engenheiro Luís Mateus tirou o curso de engenharia civil no ramo de construção no Instituto Superior Técnico e neste momento é colaborador docente dessa instituição. Já trabalhou como diretor de obra, diretor de produção e gerente na empresa Monumenta e como diretor de obra na empresa Stap.

##### **Resumo da entrevista:**

Para o Engenheiro Luís Mateus, o termo “reboco” está geralmente associado ao uso de argamassas num sistema de revestimento – em sistema monocamada ou multicamada – com uma espessura total que pode variar entre 10 e 30 mm e quando esse reboco é complementado com uma armadura diz-se “reboco armado”. Essa armadura pode conferir ao reboco uma função estrutural (de reforço) ou contribuir para o controlo da fendilhação. Em qualquer dos casos será necessário prescrever uma

argamassa e uma armadura que funcionem em conjunto e que respondam às necessidades concretas da construção. O reforço estrutural deve recorrer a argamassas com um nível mais elevado de resistência mecânica para funcionarem bem com armaduras com função resistente (por exemplo em malha de aço ou de carbono); se a intenção for o controlo da fendilhação, poderão aplicar-se redes mais leves e flexíveis (por exemplo de fibras de vidro ou poliméricas) em rebocos à base de argamassas mecanicamente mais pobres (por exemplo à base de cal aérea e/ou cal hidráulica).

Quando se fala em aplicar rebocos armados em edifícios, é importante perceber as diferenças de constituição e de comportamento entre o “esqueleto” (estrutura) de uma estrutura nova e de uma estrutura antiga. Numa estrutura dita recente (em estrutura reticulada de betão armado) existe por isso uma menor reserva em aplicar uma solução de reforço resistente com argamassas cimentícias. No caso dos suportes antigos em alvenaria de pedra ou bloco cerâmico maciço argamassada, é necessário conciliar os novos materiais com as argamassas antigas pré-existentes, muitas delas à base de cal aérea.

O dimensionamento das soluções de reforço poderá conduzir à aplicação de outras técnicas de reforço como é o caso das lâminas armadas - geralmente com espessuras superiores a 40 mm e compostas por betão ou microbetão projetado com armaduras resistentes embebidas (na maioria dos casos em aço). Essa técnica não deve confundida com a de reboco armado.

#### **4.3.2. Entrevista aos Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro**

A visita à empresa H Tecnic para a realização de uma entrevista aos Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro efetuou-se no dia 18 de abril de 2018. A H Tecnic é uma empresa de construção fundada em 2002 que se dedica à reabilitação do património construído e ao reforço de estruturas. As suas instalações situam-se na Avenida Almirante Gago Coutinho, N<sup>o</sup> 133, no Lumiar.

O Engenheiro João Farinha tirou o curso de Engenharia Civil na especialidade de estruturas no Instituto Superior Técnico e é o diretor geral da empresa H Tecnic. O Eng.<sup>o</sup> Bruno Monteiro realizou o curso Engenharia Civil na Universidade da Beira Interior no ramo de estruturas, tirou uma pós-graduação em Gestão da Segurança, Higiene e Saúde no trabalho na Escola Superior de Saúde Egas Moniz, e trabalhou na H Tecnic como técnico comercial, coordenador de projetos e auditor interno.

##### **Resumo da entrevista:**

O Eng.<sup>o</sup> João Farinha iniciou a sua entrevista com uma breve descrição da história da evolução do reboco. Explicou que inicialmente os rebocos tinham como principal objetivo proteger as superfícies das paredes de alvenaria que podiam ser estruturais ou não. Se se recuar muitos anos no tempo, lembrando a época da Idade Média (séculos V ao XV), as paredes de alvenaria de pedra dos castelos eram rebocadas e a sua finalidade era proteger a pedra da erosão. Ao longo do tempo, naturalmente o reboco ia sofrendo erosão mas em qualquer altura poderia ser repostado, mantendo o elemento estrutural intato. Nessa época o reboco era aplicado principalmente em paredes de alvenaria de pedra resistente e o seu ligante era à base de cal. Para que fosse possível obter um

melhor acabamento da parede começaram-se a introduzir gorduras, obtendo-se argamassas com grandes espessuras e que conduziam a um período de carbonatação da cal de vários anos. Com a evolução dos materiais de construção, apareceram as construções de alvenaria de tijolo e mais tarde surgiu a era do betão. Neste tipo de construções a argamassa de revestimento é à base de areia e cimento e, neste caso, o seu objetivo é principalmente estético e não de proteção. Este tipo de argamassas apresenta alguns problemas que as argamassas à base de cal não apresentavam, como a elevada retração e conseqüentemente a fendilhação. Para contornar esse problema começaram a ser introduzidas malhas de fibras.

Este técnico afirma que hoje em dia são também realizados rebocos armados com redes muito mais resistentes (as malhas de aço). A origem de rebocos armados com este tipo de redes é distinta dos rebocos armados com malhas de fibra e a sua finalidade está relacionada, principalmente, com o reforço estrutural da parede. Uma das técnicas mais utilizadas na reabilitação dos edifícios mais antigos passa pela demolição das paredes interiores e lajes, mantendo as fachadas (que normalmente são de alvenaria de pedra - geralmente com espessuras entre 0,60 m a 1 m e em alguns casos chega aos 2 m de espessura). Como estas estruturas não resistem a esforços horizontais (não verificavam a segurança à ação sísmica), os projetistas integram nelas lâminas de betão armado, em que a armadura é fixa à parede. Esta técnica pode ser executada, por exemplo, com a introdução de uma armadura de aço A 500 ou A 400 fixada à parede por pregagens, com a posterior projeção de várias camadas de betão. Em obra a realização desta solução pode ser um pouco complexa e dispendiosa, comparativamente a outras soluções, provocando uma necessidade, por parte dos empreiteiros, de encontrar alternativas mais apelativas. Para uma solução mais rápida os empreiteiros começaram a aplicar lâminas mais finas utilizando a mesma malha de aço ou com diâmetros um pouco inferiores. As empresas que fabricavam betão pronto tentaram acompanhar as necessidades dos empreiteiros e desenvolveram as argamassas de alta resistência. Uma das vantagens destas argamassas está na possibilidade de serem aplicadas manualmente, não exigindo a utilização de equipamentos dispendiosos de projeção nem de mão-de-obra especializada. Este tipo de argamassa acaba por ser denominada de argamassa estrutural porque substitui um elemento estrutural, o betão.

O Engenheiro João Farinha esclarece que a utilização de certos tipos de argamassa e armaduras não devem ser aplicadas em conjunto e explica o porquê. Numa solução de reboco à base de cimento, em que a argamassa é de baixa resistência, não deve ser colocada uma armadura de aço de alta resistência pelo fato de os materiais utilizados (a argamassa de revestimento e a armadura de reforço) apresentarem resistências que não são compatíveis entre si. Um exemplo representativo disso são os rebocos armados com redes de aço do tipo A 500. Este tipo de armadura apresenta uma grande resistência e se for incorporada numa argamassa de revestimento que, em geral, apresenta baixa resistência, nunca vai ser solicitada em termos de cargas e a argamassa irá fendilhar por completo. O Engenheiro Bruno Monteiro explicou ainda, que nestes casos é a argamassa que entra em rotura em primeiro lugar e o aço irá receber toda a carga e “trabalhar” por si só, sem o contributo da resistência da argamassa. Para que este tipo de solução funcione é necessário que a argamassa

utilizada apresente uma resistência compatível à do aço A 500, por exemplo, argamassas com uma classe de resistência R4, que já são argamassas modificadas com aditivos e que a sua resistência pode ir até aos 50-60 MPa. Ao utilizar-se uma solução com malhas de aço existe ainda o problema relacionado com o recobrimento da armadura. Neste tipo de armaduras a espessura mínima de recobrimento pode chegar a vários centímetros enquanto noutros tipos de armaduras, como as redes de fibra, não é exigido uma espessura mínima de recobrimento.

Na opinião do Eng.<sup>o</sup> João Farinha, quando a solução passa por um revestimento constituído apenas por argamassas de cal não deve ser aplicada uma armadura de aço. A incorporação de uma rede de fibra para controlar a retração é desnecessária tendo em conta que as argamassas de cal apresentam muito pouca retração. Tratando-se de argamassas à base de cimento, a aplicação de uma rede de fibra de vidro para controlo da fendilhação por retração é uma solução inteligente. Também pode ser aplicada uma rede de aço para o mesmo efeito no entanto, a incorporação de uma malha de aço numa solução de reboco armado não deve ter como objetivo a obtenção de um reforço estrutural da parede.

Para o Eng.<sup>o</sup> João Farinha, a técnica de reboco armado é uma solução de reforço não estrutural. O reboco tem como principal função o revestimento da parede e a armadura o controlo da fendilhação desse revestimento.

#### **4.3.3. Entrevista ao Engenheiro Vasco Appleton**

A entrevista ao Engenheiro Vasco Appleton realizou-se na empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda, no dia 28 de maio de 2018.

O Engenheiro Vasco Appleton obteve o grau de Mestre em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico. Neste momento, é sócio da empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda. A empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda, iniciou a sua atividade em 1990, localizando-se na Rua Acácio de Paiva, N<sup>o</sup> 27 em Lisboa e realiza estudos e projetos de novas estruturas ou intervenções em estruturas existentes, envolvendo betão armado, betão armado pré-esforçado, aço, madeira e alvenaria.

##### **Resumo da entrevista:**

O Engenheiro Vasco Appleton explica que o método de aplicação e os materiais utilizados na técnica de reboco armado varia muito consoante as necessidades de cálculo, consoante o consenso que se consegue obter por parte dos Arquitetos, do estado de deterioração em que se encontram as paredes, da tipologia, etc. Como um exemplo tem-se o facto da simples irregularidade da parede. Em paredes muito irregulares, ou contrário das que são regulares, é necessário que sejam aplicadas grandes espessuras de argamassa para que sejam eliminadas as irregularidades.

Este técnico explica que, apesar de cada caso ser um caso, existe a necessidade de se fazer um esforço para uniformizar as soluções, no entanto, sem nunca deixar de ter em conta que, dependendo do edifício, existem armaduras que não fazem qualquer sentido serem aplicadas. Para se ter uma noção da grande variedade de possibilidades, quando diferentes pessoas fazem um



cálculo estrutural para o dimensionamento da armadura a aplicar numa certa parede, cada um irá obter uma solução diferente e todas elas podem estar corretas.

A primeira vez que o Engenheiro Vasco Appleton ouviu falar da técnica de reboco armado, ainda era estudante e foi numa palestra do Engenheiro Eduardo Cansado de Carvalho, sobre o sismo que ocorreu nos Açores em 1980. Nesse artigo, vinham publicadas duas fotografias em que se podia ver duas casas idênticas lado a lado, uma antes de ocorrência do sismo e outra após o sismo. Antes do sismo as duas casas encontram-se em idêntico estado de conservação, sem grandes anomalias. Depois da ocorrência do sismo, uma delas manteve-se praticamente intacta mas a outra ficou em ruínas. Pouco tempo antes do sismo, apenas a casa que se manteve intacta após o sismo, tinha sido alvo de reforço com reboco armado.

A empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda, adota a técnica de reforço de paredes de edifícios antigos armado através da aplicação lâminas de argamassa armadas ou através de lâminas de microbetão armadas, como solução de reforço de paredes de alvenaria. A maior parte dos gabinetes em Portugal procedem de forma distinta, pois normalmente reforçam estas paredes com o acrescento de pilares e assumem a teoria de que, caso ocorra um sismo, as paredes das fachadas acabam por colapsar mas a estrutura de suporte do edifício mantêm-se firme. No entanto se as fachadas de um edifício colapsam, mesmo que a estrutura de suporte do edifício permaneça firme, existe um alto risco para os cidadãos que circulam nas ruas de serem atingidos pelos materiais projetados provenientes do colapso.

No caso do reforço das paredes em alvenaria de fachadas, através da introdução de pilares executados entre a alvenaria, o que se verifica, normalmente, quando ocorre o colapso da alvenaria devido a, por exemplo, um sismo, é a inexistência de argamassa de alvenaria “agarrada” aos pilares. Apesar de os pilares terem sido betonados contra a alvenaria, a parede de alvenaria não oscila da mesma forma que os pilares, e o que acaba por acontecer é a desagregação da alvenaria mas não dos pilares. O único modelo que ainda tenta ser verosímil é o modelo em que se mobiliza tudo.

Proceder ao reforço das paredes exteriores através da introdução de lâminas de argamassa ou de microbetão armadas, acaba por ser quase incontornável na reabilitação para que o edifício verifique a segurança à sismicidade.

No caso de edifícios novos, a aplicação desta técnica já não faz tanto sentido porque neste tipo de edifícios pode-se aplicar outros tipos de materiais estruturais, tais como paredes de betão ou estruturas metálicas de travamento. A técnica de reboco armado é uma metodologia muito utilizada em edifícios antigos. Neste tipo de edifícios as paredes já se encontram construídas existindo, assim, a necessidade de adaptação ao que existe. O que normalmente acontece na reabilitação de edifícios antigos é que, devido a um aumento dos vãos das lajes ou a um aumento da carga aplicada sobre as paredes, para as quais a parede de alvenaria não está à partida habilitada, existe a necessidade de reforçar, tanto ao nível das cargas horizontais como ao nível das cargas verticais. Outro caso de aplicação desta técnica, e que apenas faz sentido na reabilitação, verifica-se quando existe a necessidade de modificar o comportamento sísmico do edifício. Quando existe a necessidade de

“aliviar” certas zonas do edifício, a introdução de lâminas em zonas específicas do edifício provoca uma alteração da rigidez, um encaminhamento dos esforços para as zonas pretendidas e um alívio de esforços nas zonas que se deseja aliviar.

Na empresa A2P, a espessura de reboco armado, lâmina de argamassa mais armadura, pode ir até os 4 cm. Acima dessa espessura já será aconselhado a realização de uma lâmina em microbetão. Na maior parte das vezes, considerar uma espessura total de reboco armada com 4cm causa algum receio por parte dos Arquitetos, uma vez que, um reboco com esta espessura pode comprometer a solução de acabamento e não é garantido que funcione.

Em diversas obras realizadas pelo A2P onde é aplicada a técnica de reboco armado em paredes de edifícios, é utilizada uma argamassa de chapisco industrial. Essa argamassa é essencialmente vendida em saco pré-doseado, tem características semelhantes a um microbetão com uma areia muito grossa, tornando-se estruturalmente semelhante a um betão pré-doseado ou um betão encomendado mas sem brita, com inertes de pequena dimensão.

Numa obra em que foram realizadas camadas com argamassa de chapisco e lâminas de microbetão verificou-se que a nível de resistência eram idênticas, no entanto as lâminas com argamassa de chapisco apresentavam um controlo da retração menor e, portanto, não devem ser aplicadas com espessuras muito grandes ou, caso sejam aplicadas, deverão ser em várias camadas finas. Numa outra obra em que foi colocada este tipo de argamassa de chapisco com uma espessura total de 10 cm, verificou-se o fenómeno de descaimento da argamassa devido à elevada espessura da camada aplicada.

Os empreiteiros em geral têm preferência na utilização da argamassa de chapisco em vez do microbetão porque apresentam custos menores e em termos de resistência são idênticas.

Relativamente ao uso de lâminas armadas, estas técnicas são aplicadas preferencialmente apenas numa das faces das paredes. Apesar de estruturalmente ser mais eficaz aplicar a ambas as faces da parede, torna-se pouco saudável porque as lâminas constituem duas camadas impermeáveis que encamisam a parede, não a deixando “respirar”.

#### **4.3.4. Entrevista à Engenheira Rita Bento**

A entrevista à Engenheira Rita Bento realizou-se nas instalações do Instituto Superior Técnico no dia 26 de abril de 2018. A engenheira Rita Bento obteve o grau de Mestre em Engenharia Sísmica e o grau de Doutora em Engenharia Civil, no Instituto Superior Técnico. Neste momento é professora associada no Departamento de Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico.

##### **Resumo da entrevista:**

A engenheira Rita Bento apoia a utilização da técnica de reboco armado, mas alerta para o facto de ser muito importante analisar qual o tipo de edifício onde vai ser aplicado a técnica. Se se tratar de um edifício antigo com um elevado valor patrimonial, a sua opinião é de que não deve ser aplicada

este processo de reforço. A técnica de reboco armado é irreversível e não permite preservar a integridade de todos os seus componentes como um produto característico do seu tempo.

É uma solução eficiente porque aumenta a rigidez e a resistência das paredes, que são os elementos resistentes principais nos edifícios com paredes de alvenaria antiga, e é também uma solução económica comparando com outras soluções de reforço e ainda tem a vantagem de não precisar de mão-de-obra especializada.

Foi uma técnica muito utilizada no reforço de paredes nos Açores, em 1980 em Angra do Heroísmo e depois mais tarde no Faial no sismo 1998.

#### **4.3.5. Entrevista ao Engenheiro Eduardo Monteiro**

Esta entrevista foi efetuada através de troca de emails realizados durante o mês de fevereiro de 2019, devido ao facto de o Engenheiro Eduardo Monteiro se encontrar fora do país nessa altura. Como a entrevista foi realizada através de troca de emails, as perguntas foram respondidas de uma forma mais direta, não existindo tanto espaço para uma abordagem livre do tema.

O Engenheiro Eduardo Monteiro tirou o curso de Engenharia Civil, na Universidade de Coimbra, na especialidade de Estruturas. Neste momento é diretor de projetos na empresa Profico – Projetos, Fiscalização e Consultoria, Lda.

##### **Resumo da entrevista:**

Para o Engenheiro Eduardo Monteiro, a técnica de reboco armado consiste na aplicação de uma camada de reboco constituída por uma argamassa à base de cal e/ou cimento e de uma armadura, que é usual ser metálica ou em fibra de vidro. A argamassa introduz resistência mecânica ao conjunto, principalmente de compressão, e a armadura tem como principal função responder às solicitações de tração da parede existente. Para assegurar que não existirão esforços de escorregamento na superfície de contacto entre a parede existente e camada de reboco armado a aplicar, geralmente são aplicados grampos ou pregagens (conectores).

A solução de reboco armado é normalmente aplicada como reforço estrutural de estruturas deficientes em resistência mecânica, na melhoria do comportamento da estrutura face à ação sísmica e, em estados limites de utilização, no controlo da fissuração.

Na escolha dos materiais, argamassa de revestimento e armadura de reforço, é usual proceder-se primeiramente a uma avaliação de qual o tipo de argamassa que mais se adequa ao paramento existente e posteriormente é escolhida a armadura tendo em conta a sua compatibilidade com o tipo de argamassa previamente escolhida. O desenvolvimento da solução escolhida deve-se sustentar na consulta da regulamentação geral existente e em muitos casos é comum que sejam consultadas publicações específicas e/ou publicações dos próprios fornecedores e aplicadores.

A técnica de reboco armado é maioritariamente aplicada em edifícios antigos de alvenaria. Poderá fazer sentido a aplicação desta técnica em paredes não resistentes de alvenaria de edifícios novos,

para controlo da fissuração ou na execução de divisórias ornamentais. No entanto não é usual aplicar-se para a obtenção de um incremento na resistência do elemento.

Quando utilizada em paredes de estruturas mais antigas e com valor patrimonial, é preferível a utilização de argamassas de cal aérea ou hidráulica. Nas paredes de alvenaria resistentes sem grande valor patrimonial, podem ser aplicadas argamassas de base cimentícia ou mesmo betão.

O Engenheiro Eduardo Monteiro recomenda vivamente a aplicação da técnica no reforço de estruturas existentes. Com a introdução de uma camada de reboco armado, é possível obter um aumento significativo da capacidade resistente da parede a esforços de vários tipos (compressão, tração, flexão, corte, etc.).

O Engenheiro Eduardo Monteiro disponibilizou algumas das soluções de reboco armado utilizadas no reforço estrutural de paredes e abóbodas (esforços de tração), projetadas pela empresa Profico. Apesar de não ser esse o principal objetivo, a introdução da rede de fibra de vidro também ajuda no controlo da fendilhação da argamassa. No anexo A estão representadas algumas dessas soluções.

#### **4.3.6. Comentários Finais**

Foram efetuadas 5 entrevistas a Engenheiros Cívicos com carreiras e cargos profissionais distintos. O número de entrevistas efetuado não permite obter uma opinião generalizada de toda a população que na sua vida profissional trabalha, direta ou indiretamente, com a solução de reboco armado. No entanto, apenas com as entrevistas realizadas é possível verificar, comparando as opiniões de cada entrevistado, que por vezes existe alguma divergência em relação a alguns aspetos relacionados com a técnica de reboco armado.

A opinião geral dos entrevistados é de que esta técnica é maioritariamente aplicada na reabilitação de edifícios antigos. Um edifício novo apresenta características e materiais de construção distintos de uma construção antiga, sendo que neste tipo de construções, a utilização de materiais com elevada resistência, como o betão, não irá comprometer a resistência da estrutura existente nem a compatibilidade entre os materiais existentes e os novos, sendo preferível a sua utilização.

Quase todos os entrevistados chamam à atenção para a importância na avaliação da compatibilidade entre a solução e o suporte onde é aplicada, assim como a compatibilidade estrutural entre a armadura e a argamassa escolhidas. É usual proceder-se primeiramente à escolha do tipo de argamassa e posteriormente à escolha da armadura. As argamassas mais utilizadas em paredes antigas, tendo em consideração a referida compatibilidade e em função das características do suporte e das exigências funcionais requeridas, são as que utilizam como ligante a cal aérea ou a cal hidráulica. Tendo em conta a sua finalidade, para este tipo de argamassa, é necessário prescrever qual o tipo de armadura mais indicado a utilizar, nunca esquecendo as verificações de compatibilidade anteriormente referidas. Por vezes esta técnica é confundida com técnicas semelhantes, nomeadamente as lâminas de microbetão armado e as lâminas betão armado.

O aspeto que gerou mais controvérsia ocorre na principal finalidade da técnica. Nas entrevistas realizadas estão explícitas as opiniões distintas no que toca ao principal objetivo da aplicação da

técnica de reboco armado. A maior parte dos entrevistados concorda que esta técnica é essencialmente utilizada como reforço estrutural, permitindo um aumento da resistência estrutural da parede. No entanto, os Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro defendem que a técnica deve ser aplicada apenas como solução de proteção do paramento e que a introdução de uma malha deve ter como único propósito impedir a fendilhação por retração da argamassa. Os Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro explicam que a origem desta técnica encontra-se na necessidade de contornar alguns problemas relacionados com as argamassas de revestimento utilizadas hoje em dia. Estas apresentavam uma elevada retração e a introdução de uma armadura permitiu controlar o problema da fendilhação por retração. No entanto, a evolução deste tipo de solução para um reboco armado aplicado com intuito de reforçar estruturalmente o paramento advém da necessidade, por parte dos empreiteiros, de obter uma solução mais rápida, fácil e económica comparativamente a outras soluções de reforço estrutural e, nas suas opiniões não deve ser considerada como uma técnica de reforço estrutural de paredes. No que toca à principal finalidade da técnica, esta opinião não vai ao encontro da maioria dos entrevistados.

O Engenheiro Eduardo Monteiro disponibilizou alguns dos pormenores construtivos da técnica e que são usualmente utilizados na empresa onde trabalha sendo que, após a análise dos casos de estudo de seguida retratados no Capítulo 5, será possível comparar os diferentes métodos.

#### **4.4. Casos de estudo**

Foram reunidas informações para a análise de quatro casos de estudos que envolvem a aplicação da técnica de reboco armado em obras de reabilitação, sendo eles os seguintes:

1. Obra de Reabilitação do Edifício na Rua da Salitre, Nº 191 – Lisboa;
2. Obra de Reabilitação da Ponte sobre a Ribeira da Machada – Lagos;
3. Obra de Reabilitação do Edifício da Calçada de Santana, Nº 199 – Lisboa;
4. Obra de Reabilitação do Edifício na Rua da Salitre, Nº 134, 136, 136<sup>a</sup> e 138 – Lisboa.

O primeiro caso de estudo surgiu através da realização de uma visita de estudo de uma obra que estava a decorrer, onde foi possível estabelecer contacto, e posteriormente realizar uma reunião para troca de informação e esclarecimento de dúvidas, com o Engenheiro António Tribolet que desempenhava a função do Planeamento, Coordenação, Fiscalização e Controlo de qualidade da obra. Para realização do segundo e terceiro caso de estudo foi realizado o contacto à empresa que realizou a empreitada e procurou-se obter informações relativas à obra, nomeadamente relatórios, documentos, fotografias, projetos, etc., procedendo-se posteriormente a uma análise e estudo de toda a informação recolhida.

Os casos de estudo de seguida apresentados têm como principal objetivo a análise do processo construtivo da técnica de reboco armado, tendo em conta o tipo de edifício ou Obra de Arte e a finalidade da solução, com intuito de comparar o trabalho de campo com os conteúdos teóricos apresentados nos capítulos anteriores.

O estudo das várias obras de reabilitação incide principalmente na análise da técnica de reboco armado, no entanto, procurou-se também, enquadrar e caracterizar a obra e descrever as principais anomalias verificadas.

#### **4.4.1. Obra de Reabilitação do Edifício na Rua da Salitre, Nº 191 - Lisboa**

Este caso de estudo foi elaborado com intermédio a: realização de uma visita ao local da obra durante o seu processo de reabilitação; uma entrevista ao Eng.º António Tribolet; diversos estudos, projetos, plantas e pormenores construtivos realizados pela empresa que executou o projeto de intervenção, a empresa A2P Consult, Estudos e Projectos Lda.

No dia 20 de abril de 2018, foi efetuada uma visita à obra na Rua da Salitre, Nº 191, com o acompanhamento do Engenheiro António Tribolet. Após a visita foi efetuada uma entrevista ao Eng.º António Tribolet, sendo colocadas várias questões a respeito de alguns dos métodos de intervenção empregados na reabilitação do edifício.

Todas as plantas e pormenores construtivos, assim com algumas das fotografias do edifício apresentadas de seguida, são da autoria da empresa A2P Consult, Estudos e Projectos Lda.

##### **4.4.1.1 Caracterização do edifício**

O edifício em questão é constituído por 5 pisos. O piso 1 ocupa cerca de 2/3 da planta e corresponde a um piso de sobreloja. O restante 1/3 do espaço corresponde a uma zona de passagem que estabelece uma ligação direta ao pátio tardo e outra aos pisos superiores através da caixa de escadas. Esta zona de passagem abrange também parte da planta do r/c. Na restante área do r/c, pode-se observar a existência de arcos, abóbadas, pilares e paredes de alvenaria de pedra que servem de suporte aos pisos elevados. Os restantes pisos destinam-se a habitação. De seguida, nas Figuras 18 e 19, é apresentado um desenho e uma fotografia da fachada principal e tardo, respetivamente, do edifício em questão.

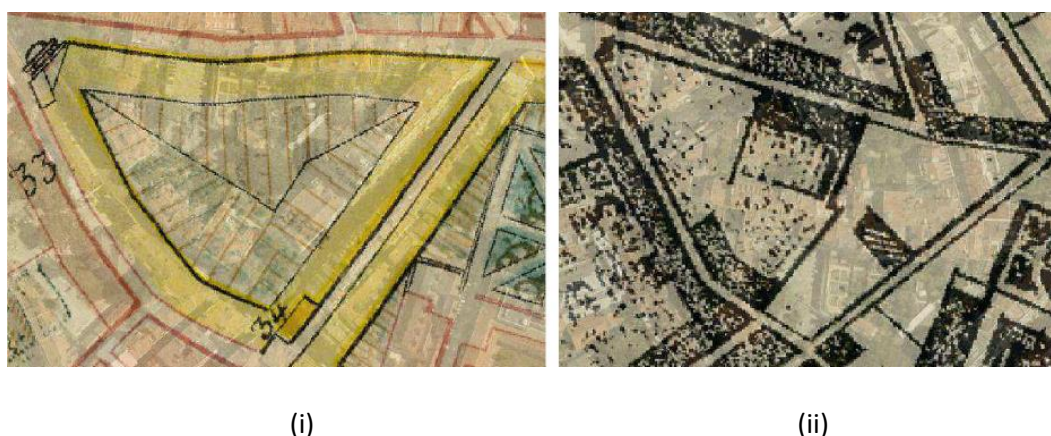


**Figura 18 - Fachada principal do edifício da Rua da Salitre, Nº 191 (imagens disponibilizadas pela A2P).**



**Figura 19 - Fachada tardoz do edifício da Rua da Salitre, Nº 191** (imagens disponibilizadas pela A2P).

O edifício apresenta uma estrutura do tipo pombalina, no entanto não é certa a sua data de origem. Pela consulta da cartografia histórica é possível identificá-lo como tendo sido construído na segunda metade do século XVIII, uma vez que é possível identificar, na planta de 1785, de Francisco D. Milcont, aquilo que deverá ser já o presente edificado (Figura 20).



**Figura 20 - (i) Planta Topográfica de Lisboa, 1780; (ii) Planta de Francisco D. Milcont, 1785** (imagens disponibilizadas pela A2P).

O edifício apresenta uma planta retangular, implantada numa área de cerca de 320 m<sup>2</sup>, com uma frente para a Rua do Salitre com cerca de 20 m de extensão, desenvolvendo-se numa profundidade de cerca de 16 m. A estrutura do edifício é caracterizada por paredes periféricas de alvenaria ordinária de pedra nas fachadas e empenas e paredes interiores com estrutura mista de alvenaria e madeira, as designadas paredes de frontal, complementadas por outras paredes divisórias em tabique. Os pavimentos são constituídos por vigas de madeira apoiadas nas paredes de alvenaria e de frontal. Os seus principais alinhamentos estruturais encontram-se apresentados de forma esquemática na Figura 21, na qual se pode também observar as paredes de alvenaria de pedra das fachadas e as várias paredes de frontal, tabique e de alvenaria de pedra e tijolo.



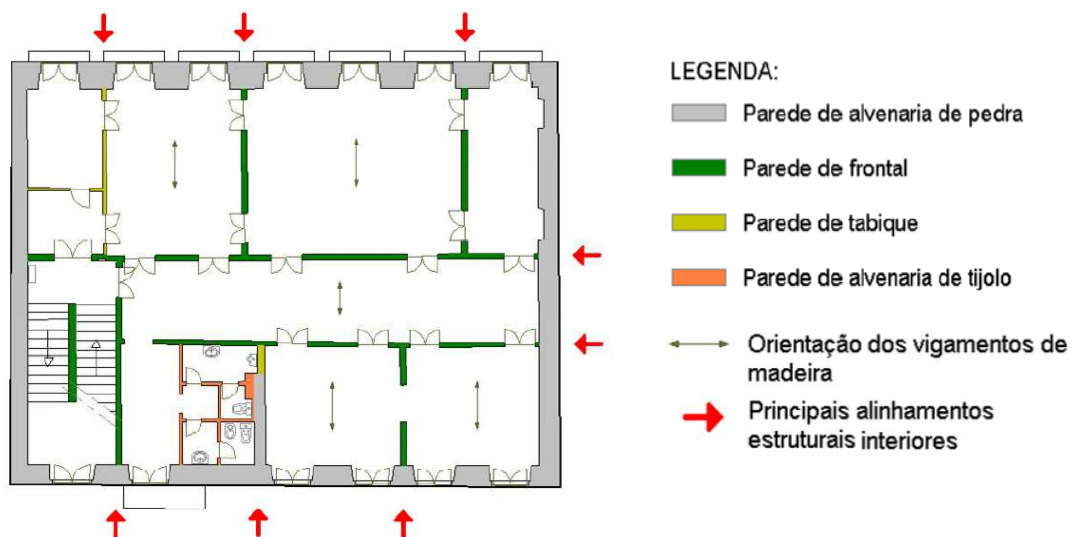


Figura 21– Identificação do tipo de paredes e principais alinhamentos estruturais do edifício (imagem disponibilizada pela A2P).

#### 4.4.1.2 Estado de Conservação

As anomalias encontradas no edifício resultam de várias situações distintas tais como, a degradação natural dos materiais associada à falta de manutenção dos espaços e as intervenções que o edifício recebeu ao longo do tempo, sendo uma delas a obra realizada no piso térreo para criação da passagem de acesso ao estacionamento.

Uma das causas de várias anomalias presentes no edifício são as infiltrações de água pela cobertura e vãos exteriores. Estas infiltrações causam humidades em paredes e tetos, assumindo a forma de manchas e são geralmente acompanhadas de eflorescências e degradação dos revestimentos, originando por vezes empolamentos e destacamentos dos mesmos. Como consequência destas humidades, temos a deterioração de muitos elementos de madeira, não só dos guarnecimentos dos vãos mas também dos próprios vigamentos, madeiras dos frontais e dos tabiques, permitindo o desenvolvimento de fungos de podridão (Figura 22).

Em relação às alterações realizadas ao longo do tempo no edifício, a supressão de elementos estruturais para a criação de passagens manifestou-se na eliminação de apoios importantes da estrutura, não só para as ações gravíticas, mas também ao nível dos travamentos horizontais para ações como o sismo, tornando-o mais vulnerável a estas mesmas ações. Para compensar a eliminação dos apoios, foram introduzidos elementos estruturais, no entanto, estes não foram convenientemente dimensionados ou, pelo menos, aplicados.





(i)



(ii)

**Figura 22 - Deterioração do tabique de regularização da empena devido a infiltrações; (ii) Humidade e infiltrações em abóbodas e paredes (imagens disponibilizadas pela A2P).**

#### **4.4.1.3 Comportamento Sísmico do Edifício Existente**

A análise do comportamento sísmico de edifícios deve-se ter em conta a interação com os edifícios adjacentes. O edifício em análise encontra-se inserido no meio de um quarteirão e por isso o seu comportamento real será influenciado pelo efeito de conjunto.

De um ponto de vista sísmico, a distribuição da estrutura original de paredes estruturais interiores, é suficientemente uniforme para travar as fachadas e empenas, ainda que algumas das paredes transversais não sejam estruturais. De forma a tirar o melhor partido dessas paredes, pode ser feito um reforço que aumente a capacidade resistente das mesmas para esse efeito.

#### **4.4.1.4 Medidas de Intervenção**

A proposta de arquitetura suporta uma intervenção respeitadora dos principais elementos estruturais e que ainda se encontram íntegros, nomeadamente arcos, abóbadas, paredes de alvenaria, alguns alinhamentos de frontal, paredes de tabique e a maioria dos pavimentos de madeira existentes.

No edifício em questão a principal intervenção passa pela reabilitação e reforço da estrutura original que tenha aptidão para vir a ter um desempenho adequado, através da correção das intervenções que o edifício sofreu no passado e da substituição dos elementos e materiais que se encontram num estado de degradação em que não aconselhável a sua conservação. Assim, quer pelas alterações arquitetónicas, quer pelo estado de conservação dos elementos estruturais, será necessário que sejam tomadas algumas medidas de reparação e reforço. De seguida descrevem-se apenas as medidas que envolvem a aplicação de lâminas de reboco armado e microbetão armado.

Uma das medidas de intervenção estrutural aplicadas no edifício consiste na execução de uma lâmina armada em várias paredes, tanto nas paredes de alvenaria de pedra como nas paredes de frontal e tabique. Em algumas destas paredes é aplicada uma solução que consiste numa lâmina de microbetão armada e noutras uma solução de reboco armado.

### **Reforço sísmico de paredes:**

Nas paredes de alvenaria interiores ou nos casos onde surgem trações de uma forma mais generalizada, as paredes serão reforçadas com lâminas de microbetão com 5 cm de espessura. As paredes interiores de frontal e de tabique, existentes e novas, serão reforçadas, numa das faces, com lâminas de reboco armado com 3 cm de espessura, integrando os elementos de reforço das ligações entre paredes ortogonais. Será realizada a ligação da armadura às paredes de alvenaria através de grampos de fixação, para melhoria do travamento sísmico. A execução destes trabalhos requer a demolição dos revestimentos existentes.

No anexo B estão representados os pormenores construtivos das lâminas descritas anteriormente e a planta de um dos pisos com indicação de quais as paredes que serão reforçadas com estas lâminas, neste caso a planta do piso 3 (anexo C).

### **Reforço de abóbadas:**

No extradorso das abóbadas e nas paredes de alvenaria periféricas, serão executadas camadas de microbetão (executada sobre e pelo lado da abóbada). Será executada uma camada de reboco armado com malha de aço distendido galvanizado na parede dos arcos, adjacentes às abóbadas de aresta. No anexo D estão representados os pormenores construtivos destas camadas.

#### **4.4.1.5 Materiais**

Os materiais utilizados na execução das lâminas de reboco armado e de microbetão armado são os seguintes:

- rede eletrossoldada A500 NR SD;
- rede de aço distendido L62 T2025 (3 kg/m<sup>2</sup>);
- rede de aço distendido L40 T1010 (0,9 kg/m<sup>2</sup>);
- malha de fibra de vidro com revestimento em cloreto de polivinílico (PVC);
- grampos de fixação: aço galvanizado A 500 NR;
- microbetão 25 SecilTEK da Secil;
- argamassa de chapisco da Secil;
- cal aérea;
- areia do rio ou areeiro;
- cimento;
- água.

O microbetão 25 SecilTEK da Secil é especialmente indicada na execução de lâminas de compressão em reforços estruturais em alvenaria de pedra ou mistas e apresenta uma resistência à

compressão (28 dias) maior ou igual a 25 MPa. A espessura total da lâmina de compressão deve ser obtida através da aplicação de sucessivas camadas com espessura de 2 a 3 cm, de forma a evitar a fissuração devido ao seu peso próprio. Esta argamassa é definida como uma argamassa para reboco de uso geral (GP) para revestimentos exteriores (EN 998-1:2010).

A argamassa de chapisco da Secil é uma argamassa seca, formulada a partir de ligantes hidráulicos. Esta argamassa apresenta uma resistência à compressão (28 dias) maior ou igual a 20 MPa e uma permeabilidade ao vapor de água menor ou igual a 15. É também é definida como uma argamassa para reboco de uso geral (GP) para revestimentos exteriores (EN 998-1:2010).

#### **4.4.1.6 Método construtivo**

A descrição do método construtivo refere-se apenas ao processo de execução das lâminas de microbetão e de reboco armadas nas paredes e abóbodas.

##### **i. Paredes de alvenaria, de frontal e de tabique**

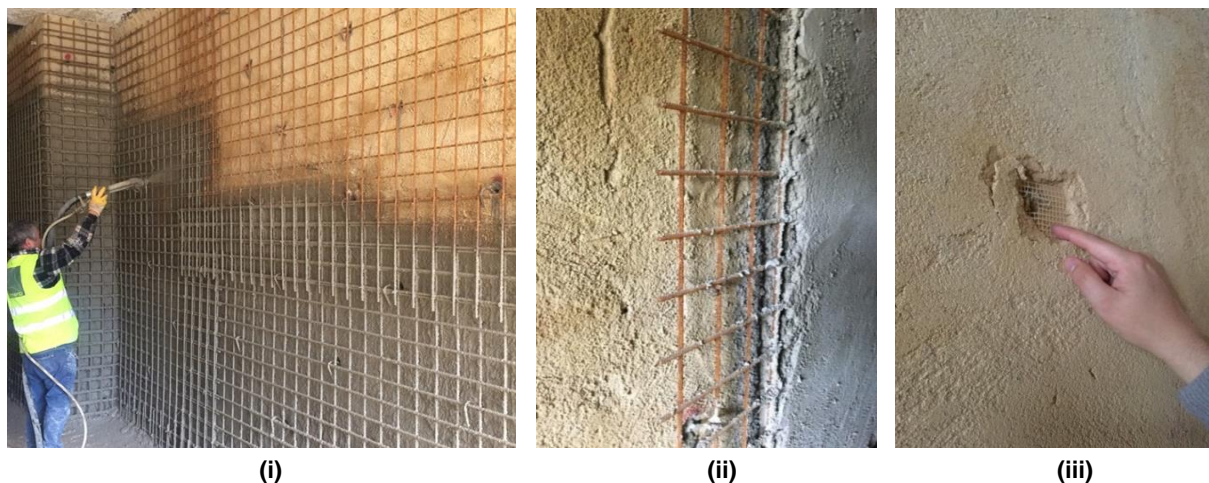
O processo construtivo desta obra iniciou-se com a escarificação das paredes de forma a remover os revestimentos/rebocos existentes e a obter uma superfície final limpa. Antes da aplicação da argamassa as paredes foram lavadas com água doce. O chapisco foi aplicado manualmente sobre as paredes ainda húmidas. A argamassa de chapisco consiste numa camada fina de argamassa de cal aérea e numa camada de argamassa bastarda com um traço de cimento, cal aérea e areia de 1:1:6. Primeiramente foi aplicada a argamassa de cal aérea e após o seu endurecimento foi aplicada a camada de argamassa bastarda.

Contrariamente ao que estava previsto no projeto de execução, nas paredes reforçadas com lâminas de reboco armado será aplicada uma rede de aço eletrossoldado A500 NR SD. Esta alteração foi realizada com o consentimento da empresa que realizou o projeto de execução.

Após o endurecimento da argamassa de chapisco, foi aplicada a rede eletrossoldada e fixa à parede através de grampos de fixação em aço. Os grampos de fixação foram realizados através de furações oblíquas, com cerca de 20 cm de profundidades, onde foi colocado o grampo de aço conjuntamente com arame e se injetou “grout” sob pressão. Após o endurecimento da “grout”, o grampo foi amarrado à rede eletrossoldada, com arame. Estes grampos foram realizados em quincôncio, com um afastamento de 0,60 m.

De seguida, nas paredes reforçadas com lâminas de microbetão, foram projetadas várias camadas de microbetão sempre com intervalo de endurecimento entre camadas de cerca de 2 dias. Cada camada apresenta 1 cm de espessura e no total foram projetadas 5 camadas. Nas paredes reforçadas com lâminas reboco armado foram projetadas as várias camadas de argamassa de chapisco do Secil, cada uma delas também com 1 cm de espessura, perfazendo um total de 3 camadas projetadas e com um intervalo de endurecimento entre camadas de cerca de 2 dias (Figura 25). Estas soluções foram aplicadas apenas numa das faces da parede para permitir que esta “respire”.

Nas paredes onde não foi aplicada uma rede de aço eletrossoldada foi utilizada uma malha de fibra de vidro colocada sobre o chapisco, com a finalidade de controlar a fendilhação por retração da argamassa. Após a colocação da rede foi aplicado o reboco (Figura 23). Nas paredes reforçadas com microbetão a passagem de tubagens de instalações elétricas foi efetuada antes da aplicação da rede de aço enquanto nas paredes reforçadas com reboco armado, essas tubagens foram aplicadas sobre a rede eletrossoldada, devido à reduzida espessura da camada de reboco.



**Figura 23 - (i) Projeção do reboco sobre a rede de aço eletrossoldado; (ii) Pormenor da rede de aço eletrossoldado entre a argamassa de chapisco e o reboco; (iii) Pormenor da malha de fibra de vidro.**

## **ii. Abóbodas**

Inicialmente procedeu-se à escarificação da superfície das abóbodas de forma a remover os revestimentos/rebocos existentes no intradorso e do enchimento (“carrego”), no extradorso. A armadura a utilizar no intradorso da abóboda também não será a prevista no projeto de execução. Optou-se por aplicar, com o consentimento do projetista, uma rede de aço distendido L62 T2025 (3,0 kg/m<sup>2</sup>).

Após a escarificação foi aplicada uma rede de aço distendido L62 T2025 (3,0 kg/m<sup>2</sup>) no intradorso e de seguida projetada uma lâmina de reboco com cerca de 0,03 m de espessura. Esta solução foi também utilizada no reforço das paredes laterais de alvenaria de pedra das salas onde essas abóbodas se situam (Figura 24).

No extradorso, após a remoção do “carrego”, executou-se uma lâmina de reforço em microbetão com 0,06 m de espessura, armado com malha de aço distendido do tipo L40 T1010 (0,9 kg/m<sup>2</sup>) (Figura 24). Seguidamente foi reaplicado um “carrego”, executado com betão leve, com inerte do tipo leca.





(i)



(ii)

Figura 24 - (i) Lâmina de reboco armado no intradorso das abóbodas; (ii) Pormenor da malha de aço distendido aplicada no extradorso das abóbodas.

#### 4.4.2 Obra de Reabilitação da Ponte sobre a Ribeira da Machada – Lagos

Depois de realizada a entrevista aos Engenheiros João Farinha e Bruno Monteiro, o Engenheiro Bruno Monteiro tomou a palavra e apresentou algumas das obras cuja empreitada foi realizada pela empresa H Tecnic, sendo que uma delas é a obra em questão. Para além da apresentação, o Engenheiro Bruno Monteiro disponibilizou algumas fotografias do antes, durante e após a reabilitação.

##### 4.4.2.1 Caracterização da ponte

A ponte sobre a Ribeira da Machada situada no Conselho de Lagos, na região do Algarve e atravessa a estrada nacional 120 (EN120 - km 166+370). Esta ponte apresenta 8 metros de vão e é constituída por um arco de alvenaria de blocos de arenito argamassada com cal, por um enchimento em alvenaria de pedra e por cantarias nas molduras do arco e encontros em blocos calcários. A ponte é ainda constituída por muros e taludes em alvenaria de pedra rebocada. De seguida, na Figura 25, é apresentada uma fotografia da ponte antes da intervenção.



Figura 25 - Aspeto geral da ponte sobre a Ribeira da Machada antes da intervenção (imagem disponibilizada pela H Tecnic).

#### **4.4.2.2 Estado de Conservação**

Em geral o estado de conservação da ponte é mau e já se considerada que existe um risco para a circulação rodoviária. O intradorso do arco apresenta uma degradação acentuada dos blocos de arenito e da argamassa de ligação. Existem várias fendas entre as molduras e o enchimento do arco. Os muros apresentam degradação generalizada do reboco, observando-se fendilhação e destacamentos pontuais do reboco, e erosão dos blocos de alvenaria que se encontram expostos. Existe também muita vegetação junto aos muros que lentamente vai provocando a degradação dos mesmos.

#### **4.4.2.3 Materiais**

Os principais materiais utilizados na realização da selagem e injeção de fendas, assim como na camada de reboco armado são os seguintes:

- argamassa para selagem de juntas à base de cal hidráulica;
- calda de injeção de fendas à base de cal;
- pedras para alvenaria;
- argamassa para rebocos à base de cal hidráulica natural;
- rede de Fibra de Vidro com revestimento em cloreto de polivinílico (PVC), com uma abertura da malha de 40x40mm;
- fixadores metálicos;
- areia do rio lavada;
- água.

#### **4.4.2.4 Método construtivo**

Neste ponto, será explicado o método construtivo realizado no processo de reabilitação e reforço da ponte, sendo o foco principal a descrição do processo de execução da técnica de reboco armado.

Tratando-se de uma Obra de Arte todo o processo construtivo deverá ser realizado de acordo com as cláusulas técnicas especiais elaboradas pela Direção de Coordenação de Desenvolvimento, Ambiente e Segurança Rodoviária.

A obra foi iniciada com a limpeza das superfícies exteriores de alvenaria de pedra com jato de água e com escovagem macia. Os trabalhos de limpeza foram realizados de forma a garantir a preservação da superfície primitiva da pedra garantindo o especto original. A duração da ação da água de escoamento foi controlada de forma a evitar a ocorrência de infiltrações e outros prejuízos à estrutura existente.

De seguida, procedeu-se à remoção dos materiais “descolados” através da escovagem, com uma escova de nylon. Posteriormente, todo o reboco dos muros e taludes foi picado até à alvenaria incluindo parte da argamassa existente nas juntas dos blocos de arenito, obtendo-se uma superfície final limpa, livre de vegetação infestante e outros detritos, o mais nivelada possível e preparada para o seu posterior revestimento.

Após a remoção dos rebocos, procedeu-se à selagem superficial e injeção das fendas. Este processo foi realizado primeiramente com a abertura de alguns furos ao longo da extensão da fenda e a limpeza da fenda por escovagem e escarificação superficial. De seguida foram colocados tubos de injeção e purga criteriosamente espaçados ao longo da fenda, de forma a garantir que o espaço a injetar se encontra totalmente preenchido quando a argamassa de injeção surgir na abertura seguinte, e foi realizada a selagem superficial da fenda com a aplicação de uma argamassa à base de cal hidráulica isenta de produtos cimentícios, com intermédio a espátula. Esta argamassa foi fornecida em sacos e preparada no momento da sua aplicação. Após o endurecimento da argamassa de selagem, procedeu-se à injeção da argamassa nos furos acima mencionados.

Por fim foram removidos os materiais de selagem, os tubos e algum excesso de material de injeção. Na Figura 26, estão representadas duas fotografias onde é possível observar os furos realizados nas cantarias nas molduras do arco e os tubos de injeção e purga.



(i)



(ii)

**Figura 26 - (i) Execução dos furos para injeção de fendas; (ii) Pormenor dos furos e dos tubos de injeção** (imagens disponibilizadas pela H Tecnica).

Após a selagem superficial e injeção das fendas, efetuou-se a aplicação dos rebocos, tanto da zona do intradorso do arco como nos muros e taludes. Para a realização da argamassa foi misturada previamente a cal hidráulica natural, isenta de sais solúveis, e os inertes de areia de rio lavada e posteriormente foi adicionada água.

Antes e durante a aplicação do reboco forem tidos em consideração alguns aspetos fundamentais para uma boa qualidade final dos rebocos nomeadamente, as condições climáticas no momento da aplicação (não devem ser aplicados com temperaturas excessivamente altas ou baixas); o controlo da quantidade de água da amassadura; o bom aperto da massa contra o suporte (para a obtenção de

uma maior compacidade e conseqüente menor fissuração); a aplicação de camadas finas (com o objetivo de diminuir as tensões de retração, fissuração e aumentar a capacidade de impermeabilização); a exposição à radiação solar (evitando a rápida carbonatação da cal, aumentando a possibilidade de fissuração); a hidratação dos rebocos nos primeiros dias de cura (para facilitar a reação da cal hidráulica).

Nas zonas de maior irregularidade das alvenarias, antes da aplicação do reboco, foi efetuado o encasque com fragmentos de pedra idênticos às existentes para o nivelamento das superfícies.

A primeira camada, o chapisco, que estabelece o contacto com a parede, foi aplicado por projeção e apertado com a talocha, sobre a superfície limpa de poeiras e previamente humedecida para promover uma boa adesão. No chapisco o ligante hidráulico é a cal hidráulica. Esta camada teve que ser aplicada com uma espessura de cerca de 1 cm uma vez que o suporte apresentava uma superfície muito irregular.

Sobre a camada de chapisco humedecido, foi aplicado a primeira camada do emboço, com um agregado mais fino que o chapisco e um traço mais ligeiro (1,5:3). De seguida sobre a argamassa ainda fresca, foi colocada a malha de fibra de vidro com uma sobreposição das juntas de cerca de 300 mm. Para uma maior incorporação da rede na argamassa, a mesma foi levemente pressionada com a talocha e na zona do arco foram colocados fixadores plásticos devidamente espaçados e pequenas quantidades de argamassa sobre a rede, para garantir que a rede ficasse bem segura (Figura 27). Após o endurecimento parcial da primeira camada de emboço, foi aplicada uma segunda camada sobre a rede. A espessura total da camada de reboco armado aplicada é de cerca de 3 cm.

A aplicação da malha foi executada de forma a respeitar as disposições referidas na Ficha Técnica do produto e nos documentos de aprovação técnica de que disponham (Documento de Homologação, Documento de Aplicação, Aprovação Técnica Europeia ou outro aplicável).



(i)



(ii)

**Figura 27 - (i) Pormenor da rede aplicada no intradorso do arco; (ii) Pormenor da rede aplicada num dos taludes** (imagens disponibilizadas pela H Tecnic).



De seguida foi aplicado à talocha o reboco como camada de acabamento, apresentando um traço de inertes finos à razão de 1:3 e uma espessura de cerca de 1 cm. A nova camada de reboco ficou rebaixada relativamente às cantarias que materializam os frisos e molduras da ponte, à semelhança do que se verificava inicialmente. Depois de todo este processo estar concluído, foram executadas as pinturas e o tapete do enrocamento (Figura 28).



**Figura 28- Aspeto final da Ponte sobre a Ribeira da Machada** (imagem disponibilizada pela H Tecnic).

#### **4.4.3 Obra de Reabilitação do Edifício da Calçada de Santana, Nº 199 - Lisboa**

A elaboração deste caso de estudo teve como apoio uma memória descritiva e justificativa do projeto de intervenção, relatórios de obra, várias plantas, pormenores construtivos e fotografias. A Engenheira Ana Moura desempenha as funções de coordenação e gestão de projetos e obras na empresa Enescoord, e foi quem disponibilizou os conteúdos relativos ao edifício em questão, descritos anteriormente. A Enescoord é uma empresa independente, de consultores, engenheiros e especialistas, com uma ampla gama de serviços profissionais em qualquer investimento imobiliário, novo, em reabilitação ou em utilização.

Todas as plantas e pormenores construtivos do edifício, apresentadas de seguida, são da autoria do atelier de Arquitetura Victor Mestre | Sofia Aleixo, arquitetos Lda e da empresa Engenharia, Projetos e obras, Lda.

##### **4.4.3.1 Caracterização do edifício**

O edifício em questão é localiza-se na Calçada de Santana, Nº 199 na cidade de Lisboa e é constituído por 6 pisos. O piso 0 é destinado ao comércio e é composto por 2 lojas, e os restantes 5 pisos destinam-se a habitação e apresentam 1 fogo por piso. De seguida, na Figura 29, é apresentada uma fotografia da fachada principal do edifício em questão.



Figura 29 - Fachada principal do edifício da Calçada de Santana, Nº 119 (Google Maps ®).

Construtivamente, o edifício é composto por paredes resistentes de alvenaria, no contorno e na compartimentação de alguns espaços interiores, e de tabique, na compartimentação dos restantes espaços. Os pavimentos são em madeira, assim como a estrutura da cobertura.

#### ***4.4.3.2 Estado de conservação***

O edifício em questão manteve-se por um longo período desabitado e sem uma manutenção dos espaços. As anomalias presentes no edifício resultam principalmente da degradação natural das materiais, provocada por essa falta de manutenção.

Verifica-se também uma grande entrada de água nos vários pisos que provocou o apodrecimento dos elementos existentes em madeira e provocaram a degradação das várias paredes e elementos estruturais.

#### ***4.4.3.3 Medidas de intervenção***

O projeto de remodelação, elaborado pela empresa Victor Mestre | Sofia Aleixo, arquitetos lda e pela empresa Engenharia, Projetos e obras, Lda prevê a demolição de pequenos troços de parede, para melhorar a compartimentação dos espaços dos fogos, dotando-os de áreas mais compatíveis com uma utilização atual. Devido a esta alteração, deve estar previsto na solução construtiva, a introdução de reforços que suportem os esforços que os troços de parede a eliminar deixam de absorver.

Como intervenção na cobertura prevê-se a substituição da estrutura existente, mantendo a geometria. Ao nível dos pisos a solução passa pela introdução de elementos estruturais para melhorar o comportamento do edifício às ações horizontais e da substituição dos pisos na sua totalidade.

Em relação às soluções de reforço das paredes a não demolir, todos os alçados devem ser reforçados com lâminas de microbetão armado.

A pedido de quem realizou a empreitada, a empresa Anorte – construção e engenharia, lda, a empresa Cimpor – cimentos de Portugal SGPS, SA, realizou uma visita ao edifício em questão com o objetivo de dar orçamento para o fornecimento de alguns dos materiais necessários para a realização da obra. Durante a visita a empresa Cimpor, analisou as paredes e verificou que a solução de reforço prevista com lâminas de microbetão armadas, não era a mais adequada e realizou um relatório explicativo onde expõe os inconvenientes da utilização dessa solução no tipo de paredes em questão. Este relatório encontra-se descrito de seguida.

“De uma forma geral a utilização de microbetão projetado sobre paredes antigas (à base de ligantes não cimentícios) reveste-se dos mesmos inconvenientes que os verificados na utilização de argamassas de reboco cimentícios sobre essas mesmas paredes. Esses inconvenientes, de forma resumida, passam pela incompatibilidade ao nível das prestações mecânicas (ao nível das tensões interiores dos materiais), da falta de capacidade de permeabilidade aos gases e da significativa diferença entre a rigidez dos materiais pré-existentes e dos materiais de reparação.

Claro é que, sendo um composto muito mais rico em cimento do que uma argamassa de reboco, a aplicação do microbetão sobre paredes antigas envolverá todos estes inconvenientes numa dimensão superior à verificada com argamassa.

Apesar disto, e ao contrário das argamassas de cimento, existem casos em que, apesar das desvantagens anteriormente referidas, a utilização de microbetão pode ser considerada como eventualmente necessária, nomeadamente quando a construção pré-existente se encontre num estado de degradação, em que a própria estrutura se encontre em risco iminente, ou nos casos em que o “restauro” passe por aproveitar apenas a fachada e refazer o “miolo” do edifício, com construção nova.

Desta forma, não consideramos recomendável a utilização de microbetão, exceto nos casos anteriormente referidos.”

Este relatório foi posteriormente enviado pelo empreiteiro às entidades fiscalizadoras. Tendo em conta os aspetos preocupantes relacionados com a compatibilidade do microbetão com o revestimento à base de cal presentes nas paredes a reforçar, a empresa fiscalizadora, com o conhecimento do dono de obra, optou por não considerar o que estava previsto no projeto de estabilidade.

Com o contributo da sugestão da empresa Cimpor, e tendo em conta que as paredes da fachada frontal do edifício e as paredes laterais do edifício (paredes com função estrutural) se encontram resistentes, foi realizado um novo projeto de estabilidade onde foi considerada (salvo questões de natureza estrutural não visíveis) a utilização de uma solução de reforço com argamassa de encasque da Cimpor (AE).

A argamassa de encasque da Cimpor é uma argamassa seca hidrófugada composta por cal hidráulica, cimento, agregados calcários e adjuvantes químicos. Para a sua utilização basta adicionar-lhe água. Este tipo de argamassa é apropriado para efetuar o enchimento de paredes antigas de

pedra e tijolo, em trabalhos de renovação e restauro, em que os materiais foram baseados em cal hidráulica e pode ser aplicada em paredes exteriores e interiores.

O novo projeto de estabilidade prevê que caso se considere necessário realizar, durante o restauro das paredes em causa, um reforço estrutural das mesmas, deve ser utilizada a argamassa de encasque (AE), aplicada como lâmina de compressão armada, o que, no entanto, exigirá uma espessura mínima de 5 cm, sendo recomendado que a espessura seja acima de 10 cm se for necessário utilizar esta lâmina armada como base para traves ou estruturas metálicas. A somar a estas espessuras, deve adicionar-se as necessárias para as camadas de reboco e esboço, que devem perfazer pelo menos 2 cm.

Em relação à fachada tardoz, está projetada a remoção das divisões adjacentes. Esta será base para um sistema de suporte estrutural metálico. Neste caso, e confirmando-se que a fachada traseira deixará de fazer parte da estrutura antiga do edifício, a utilização do microbetão, pela face anterior pode ser considerada como viável, embora continue a ser preferível a utilização da AE, desde que esta última consiga as prestações estruturais desejadas, com espessuras compatíveis com o pretendido.

No anexo E estão representados dois pormenores construtivos, RA 1 e RA 2, da solução de reboco armado a adotar no reforço das paredes, com 5 cm de espessura e 10 cm de espessura respetivamente.

As lâminas de reboco armado serão aplicadas apenas no interior das paredes dos alçados. Apenas as paredes laterais do piso 0, devido à necessidade de uma maior capacidade resistente, irão ser rebocadas com uma lâmina armada de 10 cm de espessura. Em todas as restantes paredes dos alçados prevê-se a aplicação de lâminas de reboco armado com 5 cm de espessura, expeto no piso 1 que serão apenas aplicadas nas paredes dos alçados principais.

No anexo F encontra-se representada a planta do piso 0 com identificação dos cortes A-A e B-B e os cortes A-A e B-B com a identificação do pormenor construtivo (RA 1 e RA 2) adotado em cada piso.

#### **4.4.3.4 Materiais**

Os materiais a utilizados na execução da técnica de reboco armados nas paredes dos alçados são os seguintes:

- rede de aço distendido L62 T2025 (2,8 kg/m<sup>2</sup>);
- grampos de fixação: aço A 400 NR SD de 12 mm;
- argamassa de encasque da Cimpor;
- água.

A argamassa de encasque da Cimpor apresenta uma resistência à compressão (28 dias) maior ou igual a 6 MPa e uma permeabilidade ao vapor de água menos ou igual a 15. Esta argamassa não deve exceder 2 cm de espessura por camada, sendo que cada camada deve ter espessuras semelhantes entre si.

#### **4.4.3.5 Método construtivo**

O método construtivo descrito de seguida refere-se apenas à execução da técnica de reboco armado realizado nos alçados do edifício em questão.

A primeira intervenção passa escarificação das paredes a rebocar até ao “osso”, de forma a remover todo o revestimento/reboco existente. De seguida foi aplicada e fixa à parede a rede de aço distendido. A fixação da rede à parede foi realizada com grampos de fixação, realizados através de furações (furações com 16 mm de diâmetro) em quincôncio, com um afastamento máximo de 1 m, onde foram colocados os varões de aço de 12 mm de diâmetro e selados com “grout”. Nas zonas de transição da rede houve uma sobreposição das redes de cerca de 5 a 10 cm de largura.

Foi efetuada uma transição da malha ao longo da transição de cada piso, garantindo a continuidade do reforço entre pisos. Como a estrutura dos pavimentos é de vigamentos de madeira, esta operação foi relativamente fácil de executar. No último piso, foi deixado um troço de rede acima da cota prevista, para posterior dobragem e amarração às armaduras da cinta existente no topo das paredes, garantindo-se desta forma a continuidade entre os elementos estruturais.

Nas paredes onde não estava prevista a colocação de uma forra em pladur e não existindo espaço para passagem de tubagens de instalações elétricas, essas tubagens foram colocadas antes da aplicação da rede de aço distendido, evitando a posterior escarificação da parede para a passagem dessas infraestruturas.

De seguida, foi projetada a argamassa de encasque. Devido à irregularidade do suporte e ao fato de a aplicação ser por projeção, a lâmina de reboco foi executada através de uma só camada. Como definido no projeto de estruturas, dependendo da parede em questão, as lâminas apresentam 5 cm ou 10 cm de espessura.

No caso específico da parede tardez, que se encontrava em muito mau estado de conservação, houve necessidade de proceder ao preenchimento dos vazios da parede ("encasque") com pedras resultantes das demolições e argamassa de encasque. Esta parede, contrariamente às restantes paredes, foi reforçada com uma lâmina de microbetão armada devido ao seu elevado estado de degradação. O método de realização desta lâmina foi idêntico ao descrito para as restantes paredes e foi aplicada a mesmo tipo de rede (Figura 32).

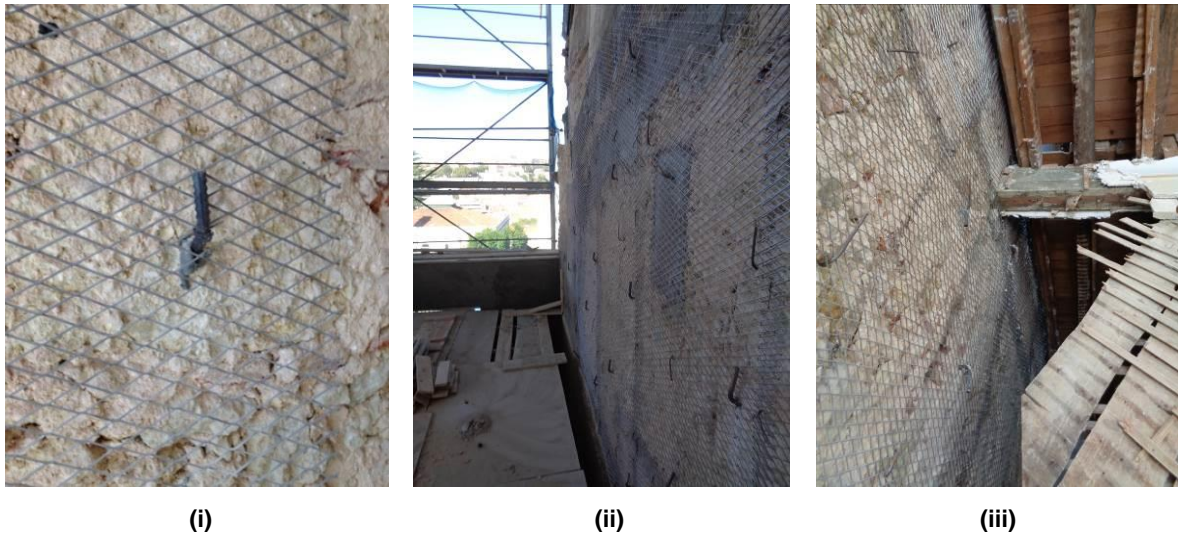


Figura 30 - (i) Pormenores do grampo de fixação; (ii) Pormenor da rede de aço distendido fixada na parede de empena direita do piso 3; (iii) Pormenor da transição da rede metálica do piso 4 para o piso 3 (imagens disponibilizadas pela Enescoord).

#### 4.4.4 Obra de Reabilitação do Edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138 - Lisboa

O presente caso de estudo foi desenvolvido com o apoio de uma memória descritiva e justificativa do projeto de intervenção, pormenores construtivos e fotografias. Mais uma vez a Engenheira Ana Moura foi quem disponibilizou os conteúdos relativos ao edifício em questão, descritos anteriormente.

Todos os pormenores construtivos do edifício, apresentadas de seguida, são da autoria da empresa R5e Consulting Engineers.

##### 4.4.4.1 Caracterização do edifício

O edifício em estudo é constituído por um piso térreo, 3 pisos elevados, uma cobertura inclinada de várias águas e uma cave que, atualmente, não ocupa a totalidade da área do edifício. De seguida, na Figura 31, é apresentada uma fotografia da fachada principal do edifício em questão.



Figura 31 – Fachada do edifício da Rua da Salitre, Nº 134, 136, 136ª, 138 (Google Maps ®).

A construção deste edifício é característica da época Pombalina, constituído por paredes periféricas com espessuras variáveis em alvenaria de pedra ordinária, que servem de apoio aos pavimentos dos diversos pisos e da cobertura, e paredes de frontal com a tradicional gaiola pombalina, dispostos segundo dois planos ortogonais, ligados às paredes de alvenaria periféricas e travados com os planos de pavimento.

Os pavimentos existentes são em tábuas de madeira e a cobertura é executada com uma estrutura de madeira, constituída por vigas, que se apoiam nas paredes de alvenaria periféricas e um sistema de ripado onde se encontram apoiadas as telhas cerâmicas.

O apoio das tábuas de soalho do pavimento é concretizado por uma solução de estrutura de madeira, compostos por vigas de secção retangular de 0,12 m por 0,17 m, com um espaçamento de aproximadamente 0,40 m. Esta estrutura encontra-se a descarregar diretamente nas paredes de alvenaria periféricas assim como nas paredes frontais existentes.

#### **4.4.4.2 Estado de conservação**

As paredes de alvenaria periféricas apresentavam antes da intervenção uma qualidade razoável. No entanto, as paredes de frontal apresentavam algumas vulnerabilidades causadas pela degradação natural ou pelas alterações arquitetónicas interiores que o edifício foi sofrendo ao longo do tempo.

#### **4.4.4.3 Medidas de intervenção**

A intervenção a realizar no edifício em estudo passa por manter grande parte das paredes interiores, a totalidade das paredes de fachada, a caixa de escadas central e cave existente irá ser reformulada e ampliada em área e pé-direito.

A cave será ampliada com recurso à execução de muros do tipo *Munique* com micro estacas executadas ao nível da cave e ao nível do rés-do-chão com o objetivo de garantir a contenção provisória das paredes de fachada e do impulso gerado pelo terreno.

Ao nível do rés-do-chão a solução adotada para o piso é a execução de uma laje maciça que terá a capacidade de suportar toda a carga existente proveniente das paredes interiores a manter no edifício. Em relação ao 1º piso, o projeto prevê a adição de vigas metálicas de reforço para suporte de paredes novas de alvenaria a construir.

Tanto ao nível do rés-do-chão como no 1º piso, prevê-se a realização de um reboco armado com 5 cm de espessura com uma malha de aço distendido do tipo gradeal 11/40 (8,9 kg/m<sup>2</sup>) nas paredes de fachada, apenas pelo interior removendo o reboco existente, e nas paredes do frontal uma solução de reboco armado com 3 cm de espessura com malha de aço distendido do tipo gradeal 11/40 (6,5 kg/m<sup>2</sup>).

Tal como no 1º, o 2º piso será praticamente todo mantido ao nível de vigeamento de madeira existente, existindo apenas a adição de vigas metálicas de reforço para suporte de paredes novas de alvenaria a construir. Neste piso está considerado a colocação de um reboco armado de 3 cm de



espessura com malha de aço do tipo gradeal 11/40 ( $6,5 \text{ kg/m}^2$ ) tanto nas paredes de fachada, apenas pelo interior, como nas paredes de frontal.

Por fim no piso 3 concebeu-se uma nova estrutura com vigeamento metálico em perfis de alma cheia, que vencem o vão de parede a parede e será realizada uma nova cobertura em estrutura metálica, com boa capacidade de contraventamento às ações horizontais.

No anexo G encontra-se representado um pormenor construtivo (pormenor tipo AV.004.0) referente à solução de reboco armado a adotar no reforço das paredes de frontal, com 3 cm de espessura. A solução de reboco armado a adotar nas paredes de fachada é idêntica à anteriormente referida, alterando-se apenas a espessura da camada de 3 cm para 5 cm

#### **4.4.4.4 Materiais**

Para a execução da técnica de reboco armado nas paredes de fachada e de frontal, foram utilizados os seguintes materiais:

- malha de aço distendido L75T3050 ( $6,5 \text{ kg/m}^2$ );
- malha de aço distendido L62T2025 ( $2,8 \text{ kg/m}^2$ );
- grampos de fixação: aço A 400 NR SD de 10 mm;
- argamassa de encasque da Cimpor;
- água.

#### **4.4.4.5 Método construtivo**

Esta obra de reabilitação encontra-se ainda em processo de construção sendo que alguns dos processos descritos podem ainda sofrer alterações. De seguida será descrito o método construtivo referente à execução lâminas de reboco armado realizadas ou previstas realizar, nas paredes de fachada e de frontal.

Com o consentimento do projetista a malha de aço prevista de  $8,9 \text{ kg/m}^2$  foi alterada para a malha de aço de  $6,5 \text{ kg/m}^2$  e a malha de aço prevista de  $6,5 \text{ kg/m}^2$  foi alterada para a malha de aço de  $2,8 \text{ kg/m}^2$ . Também ocorreram algumas alterações em relação às lâminas aplicadas nas várias paredes dos diferentes andares.

Contrariamente ao que estava previsto, no rés-do-chão (piso 0) algumas das paredes de frontal também são reforçadas com lâminas de 5 cm de espessura e no 1º piso, nas paredes de fachada, são aplicadas lâminas de 3 cm de espessura. No anexo H estão representadas as plantas dos pisos 0, 1, 2 e 3 com as soluções de reboco armada a aplicar nas diferentes paredes.

Em algumas das paredes, foi removido por completo o revestimento existente antes da execução das novas lâminas de reboco e noutras foi apenas feita uma escarificação esporádica nas zonas necessárias, dependendo do estado de conservação da parede, consoante o disposto em anexo



(anexo H). O processo inicia-se com a escarificação das paredes, removendo-se todo o revestimento/reboco existente ou parcialmente, consoante a parede.

Nas paredes de fachada pelo interior do piso 0, assim como nas paredes de frontal que são reforçadas com lâminas de 5 cm, é aplicada a rede de aço distendido de 6,5 kg/m<sup>2</sup>. Nas paredes de fachada pelo interior assim como nas paredes de frontal do 1º e 2º andar, é aplicada a rede de aço distendido de 2,8 kg/m<sup>2</sup>. No 3º piso apenas são reforçadas as paredes das caixas de escadas, utilizando uma malha de aço distendido de 6,5 kg/m<sup>2</sup>.

Para a fixação destas redes às respetivas paredes são realizados grampos de fixação executados através de furações (furações com 24 mm de diâmetro) em quincôncio, com um afastamento máximo de 1 m, onde são introduzidos os varões de aço com 10 mm de diâmetro e selados com “grout”.

De seguida, é aplicada, maioritariamente por projeção, a argamassa de encasque, sendo as lâminas executadas através da realização de duas camadas. Nas paredes onde é aplicada uma malha 6,5 kg/m<sup>2</sup> são executadas lâminas de 5 cm de espessura e nas paredes onde é aplicada uma malha 2,8 kg/m<sup>2</sup>, são efetuadas lâminas de 3 cm de espessura (Figura 32).

Consoante a sua necessidade de reforço, algumas paredes são reforçadas pelas duas faces e outras apenas numa das faces.



**Figura 32 - Pormenores das malhas de aço distendido aplicada nas diversas paredes** (imagens disponibilizadas pela Enescoord).

#### **4.4.5 Análise crítica**

A aplicação de uma solução de reboco armado em edifícios antigos ou em Obras de Arte, apresenta diversos desafios que se impõem aquando da sua adoção. Habitualmente os maiores desafios neste tipo de construções surgem pela necessidade de preservar a sua arquitetura e possível valor patrimonial.

Na obra de reabilitação da ponte sobre a Ribeira da Machada, os trabalhos de intervenção tiveram que ser concretizados consoante os procedimentos do caderno de encargos e as cláusulas técnicas especiais elaboradas pela Direção de Coordenação de Desenvolvimento, Ambiente e Segurança Rodoviária.

Três dos casos de estudo analisados referem-se à reabilitação de edifícios antigos. Nestes edifícios o estado de degradação geral das paredes a manter e reforçar era baixo. A análise aos três edifícios incidiu apenas nas paredes reforçadas com a técnica de reboco armado, exceto no edifício da Rua da Salitre, Nº 191, que também se analisaram as paredes reforçadas com lâminas de microbetão armadas. Neste edifício na solução de reboco armado e microbetão armado foi utilizada a mesma armadura e o mesmo processo construtivo, diferindo apenas o tipo de argamassa utilizada e a espessura da lâmina. Por serem soluções semelhantes decidiu-se proceder à análise de ambas. Todas as soluções de reforço analisadas tiveram como objetivo o reforço ao nível estrutural da parede.

O nível de degradação das paredes nos casos de estudo de edifícios analisados, em geral era baixo e por isso, as soluções de intervenção adotadas passam pela não demolição das paredes, mas sim pelo seu reforço através de soluções como o reboco armado e o microbetão armado.

Na reabilitação e reforço da Ponte sobre a Ribeira da Machada foi aplicado um reboco cuja sua principal função é o de revestimento e proteção da alvenaria de pedra. A rede de fibra de vidro foi incorporada no reboco com o objetivo de diminuir a fissuração da argamassa devido à retração da mesma durante o processo de endurecimento.

Para uma melhor comparação e interpretação das várias soluções, de seguida é representada uma tabela (Tabela 2) com a descrição do tipo de paredes existentes e da solução de reboco armada adotada, nos edifícios analisados.

**Legenda:**

- (1) - Edifício da Rua da Salitre, Nº 191;
- (2) - Edifício da Calçada de Santana, Nº 199;
- (3) - Edifício da Salitre, Nº 134,136, 136ª, 138;
- (4) - Ponte sobre a Ribeira da Machada.

Tabela 2 - Solução reboco armado aplicada nos casos de estudo analisados.

Edifício	Tipo de parede	Solução de reboco armada adotada			
		Método de aplicação da argamassa	Argamassa	Armadura	Espessura
<b>Aplicação da técnica de reboco armado como reforço estrutural</b>					
(1)	Paredes periféricas e interiores em alvenaria ordinária de pedra	Projeção	Argamassa de chapisco + argamassa à base de cimento	Rede electrossoldada A500 NR SD	3 cm
	Paredes interiores de frontal e de tabique				
(2)	Paredes periféricas em alvenaria ordinária de pedra com necessidade de uma maior capacidade resistente		Argamassa industrial (AE)	Rede de aço distendido L62 T2025 (2,8 kg/m <sup>2</sup> )	10 cm
	Paredes periféricas em alvenaria ordinária de pedra com necessidade de uma menor capacidade resistente				5 cm
(3)	Paredes periféricas em alvenaria ordinária de pedra e a maior parte das paredes de frontal do rés-do-chão.		Argamassa industrial (AE)	Rede de aço distendido L75 T3050 (6,5 kg/m <sup>2</sup> )	5 cm
	Paredes periféricas em alvenaria ordinária e paredes interiores de frontal do 1º e 2º piso				3 cm
<b>Aplicação da técnica de reboco armado como revestimento com a introdução de uma armadura para controlo da fissuração da argamassa</b>					
(4)	Arco em alvenaria de blocos de arenito argamassada com cal e enchimento em alvenaria de pedra	Projeção	Cal hidráulica	Rede de Fibra de Vidro (PVC)	3 cm

Como é possível verificar, os edifícios analisados apresentam uma estrutura idêntica, sendo no geral, constituídos por paredes periféricas de alvenaria de pedra e por paredes interiores de frontal e tabique e por vezes de alvenaria de pedra.

As soluções adotadas para os três edifícios analisados apresentam algumas diferenças, algo que era expectável uma vez que, cada edifício deve ser analisado individualmente e através da análise da sua tipologia, constituição e o seu estado de deterioração, deve ser dimensionada a melhor solução de reabilitação. Uma vez que as soluções de reboco armado analisadas tinham como função o reforço estrutural da parede, verificou-se, como seria esperado, a utilização de armaduras resistentes de aço distendido ou eletrossoldado. Relativamente à reabilitação da ponte, tratando-se de um reforço não estrutural, foi aplicada uma malha de fibra de vidro que é menos rígida e resistente, comparando com as malhas de aço.

Em todos os casos de estudo analisados foram aplicadas argamassas que na sua constituição apresentavam cal, sendo esta uma solução que vai de encontro com um dos princípios fundamentais da reabilitação, nomeadamente a compatibilidade com o revestimento existente do paramento. Em alguns casos, não foi aplicada uma camada de chapisco devido à elevada irregularidade do paramento.

Por vezes, os pressupostos definidos no projeto de estruturas acabam por não ser a melhor solução construtiva e durante a empreitada foi necessário proceder-se a alterações. No caso da obra de reabilitação do edifício da Calçada de Santana, Nº 119, inicialmente estava previsto o reforço das paredes com lâminas de microbetão armado. No entanto esta solução verificou-se ser inadequada para o tipo de paredes existente, devido à baixa compatibilidade verificada com as argamassas presentes, sendo então substituída por uma solução de reboco armado realizado com argamassas à base de cal. Neste caso as paredes a reforçar apresentavam um estado de degradação baixo, sendo por isso a técnica de reboco armado uma solução viável. Em obra, tanto no edifício da Calçada de Santana, Nº 119, como no edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138, existiram alterações no tipo de armaduras inicialmente previstas no projeto. Todas estas alterações foram realizadas sempre com o consentimento dos projetistas e surgiram da necessidade de, durante a empreitada, a solução prevista verificar-se não ser a mais adequada e/ou da tentativa de reduzir os custos e o tempo previsto da empreitada.

Em relação ao método de aplicação da argamassa, verifica-se uma preferência pela projeção através de meios mecânicos e a realização de rebocos industriais monocamada. Estes métodos possibilitam uma elevada rapidez na execução dos rebocos comparativamente à aplicação manual e à realização de rebocos tradicionais. A argamassa de encasque da Cimpor (AE) foi aplicada no Edifício da Calçada de Santana, Nº 199 e no Edifício da Salitre, Nº 134, 136, 136ª, 138, diretamente sobre o suporte, como reboco monocamada, substituindo as três camadas tradicionais: chapisco, camada de base e camada de acabamento. Esta argamassa permite a execução de camadas de reboco com cerca de 2 cm de espessura e a realização de várias camadas. Apesar das grandes vantagens obtidas na utilização de argamassas industriais, é necessário ter em consideração que para as mesmas se concretizarem, é essencial cumprir as recomendações do fabricante e respeitar os domínios de aplicação o que nem sempre é acontece em obra.

No edifício da Rua de Salitre, Nº 191, as camadas de reboco armado e microbetão armado foram aplicadas apenas numa das faces da parede para permitir que o suporte “respire”. Neste edifício, nas

paredes onde a solução de reboco não permitia obter o reforço estrutural necessário, foram aplicadas lâminas de microbetão armado.

Na reabilitação do Edifício da Calçada de Santana, Nº 199 e do Edifício da Rua Salitre, Nº 134,136, 136ª, 138, em algumas paredes foi aplicada uma solução de reboco armado com uma espessura bastante superior a 3 cm, com cerca de 5 e 10 cm. Estas espessuras assemelham-se, por vezes, às verificadas nas lâminas de microbetão armado. Também nestas duas obras foi utilizada uma argamassa de encasque da Cimpor. As elevadas espessuras verificadas advêm de vários fatores, nomeadamente da necessidade de se alcançar uma maior capacidade resistente da parede, que não seria obtido com espessuras da ordem dos 3 cm, e a de garantir o recobrimento da armadura de aço, evitando a penetração de água, CO<sub>2</sub>, e cloretos que provocam a corrosão da armadura. A argamassa de chapisco da Secil aplicada no edifício da Rua da Salitre Nº 191 apresenta resistência à compressão (28 dias) maior ou igual a 20 MPa. O fato de a argamassa de encasque da Cimpor apresentar uma resistência à compressão (28 dias) maior ou igual a 6 MPa, valor que é muito inferior à verificada na argamassa de chapisco da Secil aplicada no edifício da Rua da Salitre Nº 191, pode ser outro motivo das elevadas espessuras verificadas.

As soluções com lâminas de microbetão armado não são as mais indicadas para o reforço de paredes antigas, devido aos aspetos relacionados com a incompatibilidade ao nível das prestações mecânicas (ao nível das tensões interiores dos materiais), da falta de capacidade de permeabilidade ao vapor de água e da significativa diferença entre a rigidez dos materiais pré-existentes e dos materiais de reparação, sendo preferível a utilização de argamassas como a AE que contém na sua composição cal hidráulica. Sendo assim, para que seja possível garantir o reforço necessário e os aspetos relacionados com a compatibilidade, optam-se por soluções de reboco armado constituídas por argamassas à base de cal e aplicadas com espessuras bastantes superiores a 3 cm. Esta solução acaba por ser o meio-termo entre uma lâmina de microbetão, que é demasiado impermeável para este tipo de paredes, e um reboco de cal, demasiado permeável e fraco para o reforço que se pretende.

Na reabilitação Edifício da Rua da Salitre, Nº 191, nas paredes cujo nível de reforço necessário não era obtido com uma solução de reboco armado, foi aplicado uma lâmina de microbetão armado, sendo utilizada nestas duas soluções a mesma armadura. As lâminas de reboco armado aplicadas apresentavam cerca de 3 cm de espessura. Posto isto, é possível perceber que na reabilitação de paredes de edifícios antigos, existe a necessidade de obter soluções de reboco armado capazes de atingir um desempenho a nível estrutural cada vez maior, com o intuito de substituir soluções que se verificam menos compatíveis com os suportes antigos.

A reabilitação da Ponte sobre a Ribeira da Machada consiste numa obra bastante diferente das restantes analisadas, tanto pelo facto de se tratar de uma Obra de Arte, como pela finalidade do reboco armado aplicado, que neste caso era a de revestimento dos elementos de alvenaria, em que a malha aplicada tinha como objetivo o controlo da fissuração. A solução de reboco armado consistiu na aplicação de uma argamassa para rebocos à base de cal hidráulica natural e uma rede fibra de vidro e foi aplicada de forma coerente com os pressupostos teóricos. Nesta obra existiu o especial

cuidado na execução do processo construtivo, existindo o acompanhamento rigoroso dos procedimentos das cláusulas técnicas especiais elaboradas pela Direção de Coordenação de Desenvolvimento, Ambiente e Segurança Rodoviária.

Os pormenores construtivos fornecidos pelo Engenheiro Eduardo Monteiro que se encontram no anexo A, apresentam uma solução de reboco armado um pouco distinta das utilizadas na reabilitação dos edifícios analisados. Esta solução consiste numa argamassa de cal com aditivos pozolânicos com uma espessura mínima de 3 cm, armada com uma rede de fibra de vidro e foi aplicada em ambas as faces da parede conectadas entre si através de confinadores constituídos por varões roscados ou simples com diâmetro de 10 mm.

Por vezes, durante o processo de recolha de casos de estudo, foram disponibilizados conteúdos de obras de reabilitação que não continham, nas medidas de intervenção, a técnica de reboco armado, mas sim técnicas semelhantes, de execução de lâminas de microbetão armado. Por serem soluções por vezes semelhantes, pode gerar confusão relativamente ao que consiste a técnica de reboco armado.

#### **4.4.6 Conclusões do capítulo**

Três dos casos de estudo analisados referem-se à reabilitação de edifícios antigos e o outro caso de estudo analisado refere-se à reabilitação de uma ponte. Em relação aos edifícios foi aplicada uma solução de reboco armado como reforço estrutural e no caso de estudo da ponte aplicou-se um reboco armado cujo objetivo da armadura é o do controlo da fendilhação por retração.

Nos vários casos de estudo, foram aplicadas argamassas com cal na sua constituição indo ao encontro de um dos princípios fundamentais da reabilitação, nomeadamente a compatibilidade com o revestimento existente do paramento. Em todas as obras analisadas, o reboco foi aplicado por projeção. No edifício da Calçada de Santana, Nº 199 e no edifício da rua da Salitre, Nº 134,136, 136ª, 138 foram realizados rebocos industriais monocamada. No edifício da Rua da Salitre, Nº 191 e na ponte sobre a Ribeira da Machada, foram aplicadas rebocos tradicionais.

Na reabilitação do Edifício da Calçada de Santana, Nº 199 e do Edifício da Rua Salitre, Nº 134,136, 136ª, 138, observou-se em algumas paredes uma solução de reboco armado com uma espessura bastante superior a 3 cm, com cerca de 5 e 10 cm. Um dos fatores que está relacionada com as elevadas espessuras verificadas é a necessidade de se alcançar uma maior capacidade resistente da parede.

Através da análise da tabela que identifica as diferentes soluções de reboco armado aplicada nos casos de estudo analisados, é possível perceber que a solução de reboco armado é aplicada nas várias obras de reabilitação com diferentes tipos de malha, argamassa e espessuras. Estas diferenças fazem algum sentido uma vez que cada construção apresenta diferentes estados de conservação e anomalias verificadas e necessidades de reforço distintos.

## 5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 5.1. Conclusões finais

Portugal encontra-se neste momento num grande crescimento no que diz respeito à reabilitação dos edifícios existentes. Tendo em conta a vantagem económica relativamente ao mercado da construção nova, que se encontra atualmente saturado, e da urgência de se intervir sobre a construção antiga (a nível estrutural e estético), existe uma necessidade na rapidez da realização das obras de reabilitação.

A aplicação da técnica de reboco armado em paredes de edifícios antigos tem como finalidade evitar o aparecimento da fissuração generalizada, devido à retração da argamassa de revestimento, quando aplicada como reforço não estrutural, ou de conferir um aumento da ductilidade (capacidade de deformação), uma melhoria do comportamento às ações horizontais e o aumento da capacidade portante, quando aplicada como reforço estrutural. O presente trabalho incidiu principalmente na aplicação de reboco armado como técnica de reforço a nível estrutural de paredes.

Para a realização deste trabalho, foi desenvolvida uma revisão da literatura que englobou as várias medidas de reforço de paredes na reabilitação edifícios antigos e a caracterização pormenorizada da técnica de reboco armado. Depois desta análise, procurou-se complementar a pesquisa bibliográfica com a realização de entrevistas a especialistas na área da reabilitação e da recolha de informações relativamente a obras de reabilitação onde foram aplicadas soluções de reforço com a técnica de reboco armado. A análise bibliográfica assim como as entrevistas e os casos de estudo apresentados, incidiram principalmente nas soluções que são praticadas em Portugal.

Ao longo da pesquisa bibliográfica, caracterizou-se o tipo de suporte das construções antigas de alvenaria de pedra e identificou-se as principais anomalias verificadas. Tendo em conta o tipo de construções em análise e o género de anomalias mais recorrentemente observadas, identificou-se as principais técnicas de reforço considerando os condicionalismos inerentes em cada uma delas. Foi realizada uma caracterização detalhada da técnica de reboco armado onde se identificou os vários tipos de argamassas e armaduras de reforço, assim como algumas das técnicas de aplicação.

Os tipos de argamassas mais utilizadas são as argamassas de cimento, cal hidráulica, cal aérea ou uma combinação destas que deve permitir satisfazer várias exigências funcionais do reboco. Hoje em dia, verifica-se uma preferência pela utilização de argamassas industriais. As principais armaduras de reforço utilizadas são as redes de aço, redes poliméricas e as redes de fibras. Quando se procede à reabilitação de um edifício antigo, o nível de intervenção deve ser o mínimo necessário para atingir os objetivos definidos e deve ser assegurada a compatibilidade, a reversibilidade e a durabilidade das soluções adotadas sempre que possível.

A realização de entrevistas permitiu recolher várias opiniões de Engenheiros Civis relativamente à técnica de reboco armado. Apesar do baixo número de entrevistas realizadas, é possível perceber que em alguns aspetos existe alguma divergência nas diferentes opiniões recolhidas. Os vários entrevistados afirmam que a técnica é aplicada principalmente na reabilitação de edifícios antigos,

sendo importante a realização de uma análise de compatibilidade entre os diferentes materiais existentes e a aplicar. Em relação à finalidade da técnica, existe divergência nas diferentes opiniões obtidas. Na generalidade das opiniões, a finalidade recai principalmente no reforço das paredes ao nível estrutural. No entanto, existe quem defenda que a solução não deve ser realizada com esse propósito e que o seu objetivo é apenas controlar a retração da argamassa, impedindo a fendilhação da mesma. Esta divergência advém, principalmente, da evolução da técnica. Para alguns especialistas na área da construção civil, esta evolução não teve o acompanhamento técnico desejado, dando origem a soluções que, na sua opinião não deveriam ser aplicadas, nomeadamente, a técnica de reboco armado como reforço estrutural da parede.

Em relação aos quatro casos de estudo analisados, foi possível recolher a informação necessária para o estudo de três obras de reabilitação de edifícios antigos, duas delas concluídas e uma ainda no processo de reabilitação, e o estudo da reabilitação de uma Obra de Arte, nomeadamente uma ponte. A finalidade da solução de reboco armado aplicado nos edifícios difere da aplicada na ponte. Nos edifícios, aplicou-se uma solução de reforço estrutural e na reabilitação da ponte foi aplicada uma solução de revestimento em que a introdução de uma armadura teve como finalidade controlar a fissuração por retração da argamassa.

Comparando os métodos utilizados nos diferentes casos de estudo de edifícios, com os conteúdos da pesquisa bibliográfica, verifica-se alguma falta de consenso, por exemplo na espessura das lâminas aplicadas. Em dois dos casos de estudo analisados, são aplicadas lâminas de reboco armado com espessuras de 5 e 10 cm. As elevadas espessuras verificadas advêm da necessidade de se obter uma solução de reboco armado que apresente uma maior capacidade resistente e que garanta o recobrimento necessário. Desta forma, é possível substituir soluções que apresentam esse nível de desempenho mas que se verificam menos adequadas devido aos problemas relacionados com a compatibilidade entre os materiais pré-existentes e os materiais de reparação, como por exemplo as lâminas de microbetão armadas. Quanto à questão da reversibilidade, este tipo de intervenção normalmente não é reversível. O estudo desenvolvido permitiu concluir que este aspeto só é uma preocupação em edifícios com valor patrimonial.

As conclusões apresentadas tiveram por base a pesquisa bibliográfica realizada e procurou-se que fosse diversificada e completa, podendo não considerar todo o contexto teórico a informação recolhida durante as entrevistas, e a informação recolhida dos casos de estudo dependeu da informação que foi disponibilizada.

## **5.2. Desenvolvimentos futuros**

Após a pesquisa bibliográfica desenvolvida nesta dissertação, apresenta-se algumas sugestões para desenvolvimentos futuros no âmbito desta investigação.

Sendo um dos objetivos desta dissertação a recolha de opiniões de especialistas na área da construção relativamente à técnica de reboco armado, e concluindo-se que existe alguma divergência no que toca à principal finalidade da técnica, seria importante a realização de uma abordagem futura



que envolvesse um estudo aprofundado da evolução da técnica e da existência, ou não, de regulamentos normativos que vão ao encontro da evolução da mesma.

A divergência verificada nas entrevistas quanto à finalidade da técnica de reboco armado deve-se, principalmente, à evolução ao longo dos tempos dos materiais constituintes da técnica. Esta evolução advém do rápido crescimento do sector da reabilitação e da necessidade de encontrar soluções que apresentem uma maior capacidade resistente e que sejam mais rápidas e fáceis de executar, garantindo as exigências de qualidade. Para complementar a pesquisa desenvolvida nesta dissertação, é sugerido um desenvolvimento futuro que incida numa análise mais técnica e experimental, relativamente às soluções de reboco armado realizados com argamassas industriais.

Dada a grande variedade de armaduras de reforço, assim como argamassas de revestimento utilizadas na técnica de reboco armado, sugere-se a realização de uma investigação que analise a viabilidade e a durabilidade da técnica em paredes de alvenaria de edifícios antigos, através de vários ensaios, testando as várias possibilidades de conjugação dos materiais.

Devido ao número limitado de entrevistas realizadas e casos de estudo recolhidos, como desenvolvimento futuro seria também importante abordar o tema tentando obter uma maior quantidade de informação recolhida, com mais entrevistas e casos de estudo.

O presente trabalho incidiu principalmente na aspeto da resistência obtida na solução do reboco armado. Seria relevante no futuro serem desenvolvidos trabalhos que incidam noutras características dos rebocos armados.

Devido ao elevado crescimento no sector da reabilitação que se tem feito notar nos últimos anos, principalmente na cidade de Lisboa, o ritmo a que se executa as obras de reabilitação é bastante apressado, não existindo muitas das vezes, o acompanhamento necessário. A reabilitação urbana deveria implicar a existência de técnicos qualificados durante a sua execução, a exigência de um diagnóstico estrutural prévio e uma intervenção de reforço antissísmico. Uma das finalidades da técnica de reboco armada passa pelo melhoramento do comportamento sísmico do edifício. Como desenvolvimento futuro seria relevante abordar, com melhor detalhe, as várias soluções e vantagens do reboco armado aplicada como reforço antissísmico na reabilitação de edifícios antigos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Guedes, J., Arêde, A., & Costa, C. (2011). *Physical Characterization and Compression. Testo f One Leaf Stone Mansory Walls*. Elsevier, Construction and Building Materials, volume 30, pg. 188-197, november, 2011.
- Almeida, N., Pinto, A. & Gomes, A. (2002). *Caldas de cal hidráulica para consolidação de alvenarias antigas. Influência da relação a/l e do tipo de cura*. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS, Coimbra, 2002.
- APFAC. (2008). *Monografias APFAC sobre Argamassas de Construção*. Lisboa, 2008.
- Appleton, J. (1991). *Edifícios antigos - Contribuição para o estudo do seu comportamento e das acções de reabilitação a empreender*. Lisboa, LNEC, 1991 - Programa de investigação apresentado a concurso para provimento na categoria de investigador-coordenador.
- Appleton, J. (2008). *Tipificação do parque construído*. Sismos e Edifícios, Capítulo 9, Edições Orion, 1ª Edição, Lisboa, 2008.
- Appleton, J. (2010). *Reabilitação de edifícios antigos: uma escolha Sustentável*. II Jornadas Quercus – Arquitetura Sustentável.
- Appleton, J. (2011). *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e Técnicas de Intervenção*. 2ª Edição, Edições Orion, novembro, 2011.
- Appleton, J., Aguiar, J., & Cabrita, A. (2002). *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*. Volume II, LNEC, abril, 2002.
- Barrell, C. (1997). *Characterization of The Mechanical Behaviour of Masonry*. Structural Analysis of Historical Constructions. Possibilities of Numerical and Experimental Techniques. Edited By Roca, P., González, A., Mari, A.; Onate, E., International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Barcelona, 1997.
- Bayraktar, A., & Yalçın, A. (2007). *Damages of masonry buildings during the July 2, 2004, Dogubayazit (Agri) earthquake in Turkey*. Engineering Failure Analysis no14, pg 147-157, 2007.
- Binda, L. (2005). *The importance of investigation for the diagnosis of historic buildings: application at diferente scales (centres and single buildings)*. Proceedings of the 4th International seminar of Structural Analysis of Historical Constructions, SAHC, Padova, 2004.
- Borri, A., Castori, G., Corradi, M., & Speranzini, E. (2011). *Shear behavior of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests*. Elsevier, Construction and Building Materials 25, pg. 4403-4414, 2011.
- Carta de Veneza. (1964). *Carta Internacional sobre a Conservação e Restauro de Monumentos e Sítios*. Veneza, 1964.
- Cóias, V. (2007). *Reabilitação estrutural de edifícios Antigos – alvenaria, madeira: técnicas pouco*

- intrusivas*. Argumentum, Gecorpa, 2o Edição, maio, 2007.
- Costa, A. (2012). *Seismic assessment of the out-of-plane performance of traditional stone masonry wall*. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto (FEUP), 2012.
- Costa, A., & Arêde, A. (2006). *Strengthening of structures damaged by the Azores earthquake of 1998*. Elsevier, Construction and Building Materials 20, pg. 252-268, 2006.
- Costa, A., Arêde, A., Costa, A., Guedes, J., & Silva, B. (2010). *Experimental testing, numerical modelling and seismic strengthening of traditional stone masonry: comprehensive study of a real Azorian pier*. Springer Science Business Media, 2010.
- Costa, A., Candeias, P., Massena, B., & Silva, V. (2004). *Reforço Sísmico de Edifícios de Alvenaria com Aplicação de Reforços de Fibra de Vidro (GFRP)*. 6o Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, 2004.
- Costa, C. (2009). *Análise numérica e experimental do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra*. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto (FEUP), 2009.
- Costa, J., & Ripper, T. (2005). *Estratégias para a Preservação do Património Edificado - Reabilitação Estrutural e Melhoria do Desempenho*. Revista Ingenium - Ordem dos Engenheiros, 2o série, No 87, maio/junho, 2005.
- Dawood, E., & Ramli, M. (2011). *High Strength Characteristics of Cement Mortar Reinforced with Hybrid Fibers*. Elsevier, Construction and Building Materials 25, pg. 2240-2247, maio, 2011.
- Dias, L., Paiva, A., & Vieira, J. (2010). *Reforço de rebocos com fibras de sisal*. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa, 2010.
- Duarte, C. (2007). *Inovação nas argamassas de construção para alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, P.B. Lourenço et al. (eds.), pg. 157-167, 2007.
- El-Zeiny, A., & Larralde, J. (2000). *Seismic Evaluation of the Performance of Retrofitted and Repaired Brick Walls by Means of Expansive Epoxy Injection*. Department of Civil & Geomatics Engineering & Construction, California State University, Fresno, august, 2000.
- EMOdic. (n.d.). EMOdic. Dicionário Técnico - European Mortar Industry Organization. 3o Edição.
- EU-India Economic Cross Cultural Programme. (2006). *Identification of Strengthening Strategies*. Improvding the seismic resistance of cultural heritage buildings, october, 2006.
- Faria, P., Henriques, F., & Rato, V. (2005). *Análise Comparativa de Argamassas Pré-doseadas para Aplicação em Rebocos de Edifícios Antigos*. 1o Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção, Lisboa, 2005.
- Figueiredo, A. (2011). *Concreto armado com fibras*. Texto apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Livre Docente, São Paulo, 2011.

- Filho, L., Graeff, A., Caetano, L., & Bernardi, S. (2004). *Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras*. II Seminário de Patologia das Edificações, Porto Alegre, 2004.
- Flores, I., Brito, J. (2005). *Patologia e Reabilitação de Construção em Alvenaria de Pedra (alvenaria ordinária de pedra à vista)*. Apontamentos da cadeira de Reabilitação de Edifícios, IST, janeiro, 2005.
- Frumento, S., Glovinazzi, S., Logamorsino, S., & Podestà, S. (2006). *Seismic retrofitting of unreinforced masonry buildings in Italy*. Department of structural and geotechnical engineering, University of Genoa, Italy, 2006.
- Ganz, R. (1990). *Post-tensioned masonry structures*. VSL Report Series, 2, VSL International, Berne, Switzerland, 1990.
- Garcia, D. (2009). *Experimental and Numerical Analysis of Stone Masonry Walls Strengthened with Advanced Composite Materials*. Doctoral thesis, Faculty of Engineering, Bilbao, 2009.
- Giuffrè, A. (1993). *Sicurezza e Conservazione dei Centri Storici. Il caso de Ortigia. Codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico*. Editori Laterza, Roma, 1993.
- Hejazi, S., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S., & Zadhoush, A. (2011). *A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers*. Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Iran, 2011.
- Henriques, F. (1991). *A Conservação do Património Histórico Edificado*. Memória no755. LNEC, Lisboa, 1991.
- Henriques, F. (2001). *Humidade em paredes*. LNEC - Coleção edifícios, 3o edição, 2001.
- Ignoul, S., Van Rickstal, F., & Van Gemert, D. (2005). *Application of mineral grouts. Case study and impacto n structural behaviour: Church of St. Catharina at Duisburg (B)*. Structural Analysis of Historical Constructions, Modena, Lourenço & Roca (eds), London, 2005.
- Jain, R., & Lee, L. (2012). *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Infrastructure Applications: Focusing on Innovation, Technology Implementation and Sustainability*. Strategies for Sustainability, Springer Science & Business Media, 2012.
- Juandes, L., Marques, A., & Figueiras, J. (1996). *Materiais compósitos no reforço de estruturas de betão*. Relatório técnico, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, 1996.
- Kalila, A., & Kabir, M. (2012). *Cyclic behavior of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers*. Scientia Iranica Transactions A: Civil Engineering, Volume 19, pg. 151- 165, april 2012.
- Lapena, M., Marinucci, G., & de Carvalho, O. (2012). *Utilização da fibra de basalto em aplicações estruturais – revisão e propostas de aplicação*. 20º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, SC, Brasil, 2012.: 20o CBECIMAT - Congresso

- Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2012.
- Lourenço, P., & Oliveira, D. (2004). *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*. ICOMOS - Comité Científico Internacional para análise e Restauro de Estruturas do Património Arquitectónico. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, 2004.
- Manzoni, E., Dusi, A., & Mezzi, M. (2008). *Polymeric grid for a cost effective enhancement of the seismic performance of masonry buildings*. World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, 2008.
- Meli, R. (1998). *Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos*. Fundación ICA, México, 1998.
- Maurício, T. (2012). *Rebocos Armados Aplicados em Paredes de Edifícios Antigos e Novos. Levantamento de Soluções, Técnicas de Aplicação e Características*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Universidade Nova de Lisboa, dezembro, 2012.
- Pagaimo, F. (2004). *Caracterização Morfológica e Mecânica de Alvenarias Antigas - Caso de estudo da Vila Histórica de Tentúgal*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Estruturas, Universidade de Coimbra (FCTUC), 2004.
- Paiva, J., Aguiar, J., & Pinho, A. (2006). *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Instituto Nacional de Habitação, LNEC, janeiro, 2006.
- Papanicolaou, C., Triantafyllou, T., & Lekka, M. (2011). *Externally Bonded Grids as Strengthening and Seismic Retrofitting Materials of masonry panels*. University of Patras, Department of Civil Engineering, Structural, Greece, 2010.
- Paradela, M. L., & Aguila, A. del. (1992). *El envejecimiento de las pastas de cemento reforzadas con fibras de vidrio*. Revista Materiales de Construcción, Vol. 42, no 226, 1992.
- Paulo, R. (2006). *Caracterização de Argamassas Industriais*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006.
- Pedra & Cal. (2006). *Consolidação e reforço sísmico de alvenarias - O sistema Richtergard*. Pedra & Cal, no 32, 2006.
- Penazzi, D., Valluzi, M. R., Saisi, A., Binda, L., & Modena, C. (2001). *Repair and Strengthening of Historic Masonry Buildings in Seismic Areas*. Archi2000, Paris, France, January, 2001.
- Pinho, F. (2000). *Paredes de Edifícios Antigos em Portugal*. Coleção edifícios, no 8, LNEC, Lisboa, 2000.
- Pinho, F. (2002). *Reabilitação de Construções em alvenaria de pedra tradicional*. 2ª sessão do Curso de Construções em Alvenaria de Pedra e Terra Aditivada: Razões para a sua viabilidade em

- Portugal, FUNDEC, Lisboa, 2002.
- Pinho, F. (2007). *Paredes de alvenaria ordinária – estudo experimental com modelos simples e reforçados*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil na especialidade de Ciências da Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2007.
- Pinho, F. (2011). *Aspectos construtivos e funcionais das paredes divisórias na construção tradicional*. Paredes 2011 - Seminário “Paredes Divisórias: Passado, presente e futuro”, 2011.
- Pires, A. (2013). *Análise de paredes de tabique e de medidas de reforço estrutural; Estudo numérico*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na especialidade de Estruturas, FEUP, Porto, 2013.
- PrinceEngineering. (n.d.). *Fiber Reinforced Polymers Characteristics and Behaviors*. <https://www.build-on-prince.com/fiber-reinforced-polymers.html>, consultado em Janeiro de 2019.
- Raooof, S., Koutas, L., & Bournas, D. (2017). *Textile-reinforced mortar (TRM) versus fibre-reinforced polymers (FRP) in flexural strengthening of RC beams*. Elsevier, Construction and Building Materials 151, pg. 279-291, october, 2017.
- Rodrigues, M. (2004). *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação do Património Edificado, pela Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2004.
- Rodrigues, P. (1993). *Revestimentos de impermeabilização de paredes à base de ligantes minerais. Modelização experimental de revestimentos aplicados sobre um suporte*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção, IST, 1993.
- Roque, J. (2002). *Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria*. Dissertação para obtenção do grau de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2002.
- Roque, J., & Lourenço, P. (2002). *Caracterização Mecânica de Paredes Antigas de Alvenaria*. Universidade do Minho, Guimarães, setembro, 2002.
- Sichels, L. (1981). *Organic additives in mortars*. Edinburgh Architec Res, vol 8, Londres, B.A.R.
- Silva, P. (2008). *Argamassas (Rebocos tradicionais)*. Relatório técnico para a unidade curricular de Tecnologias dos Materiais de Construção II, ISEL, outubro, 2008.
- Sofronie, R. (2005). *Application of Reinforcing Techniques with Polymer Grids for Masonry Buildings*. (LNEC, Ed.). Report no5 of the RTN CASCADE, LNEC, 2005.
- Teixeira, M. (2010). *Reabilitação de edifícios pombalinos. Análise experimental de paredes e frontal*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, IST, outubro, 2010.
- Tomazevic, M. (1999). *Repair and strengthening of masonry buildings*. Earthquake-Resistent Design of Masonry Buildings, pg 203-255, 1999.

- Toumbakari, E-E. (2002). *Lime-pozzolan-Cement grouts and their structural effects on composite masonry walls*. PhD Thesis in Katholieke Universiteit, Leuven, 2002.
- Valluzzi, M. (2000). *Comportamento meccanico di murature consolidate con materiali e tecniche a base di calce*. Dottorato di ricerca in Progetto e conservazione delle strutture, Istituto Universitario di Architettura di Venezia, 2000.
- Valluzzi, M., Porto, F., & Modena, C. (2001). *Behavior of multi-leaf stone masonry walls strengthened by different intervention techniques*. Historical Constructions, Guimarães, 2001.
- Veiga, M. (2003). *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, maio, 2003.
- Veiga, M. (2006). *Intervenções em revestimentos antigos: Conservar, Substituir ou... Destruir*. Patorreb 2006: 2o Encontro sobre Patologias e Reabilitação de Edifícios, Porto, FEUP, março, 2006.
- Veiga, R., & Faria, P. (1990). *Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintética*. LNEC - Proco 083/11/9348, capítulo II, Lisboa, 1990.
- Vintzileou, E., & Miltiadou-Fezans, A. (2008). *Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts*. Engineering Structures, Elsevier, 2008.

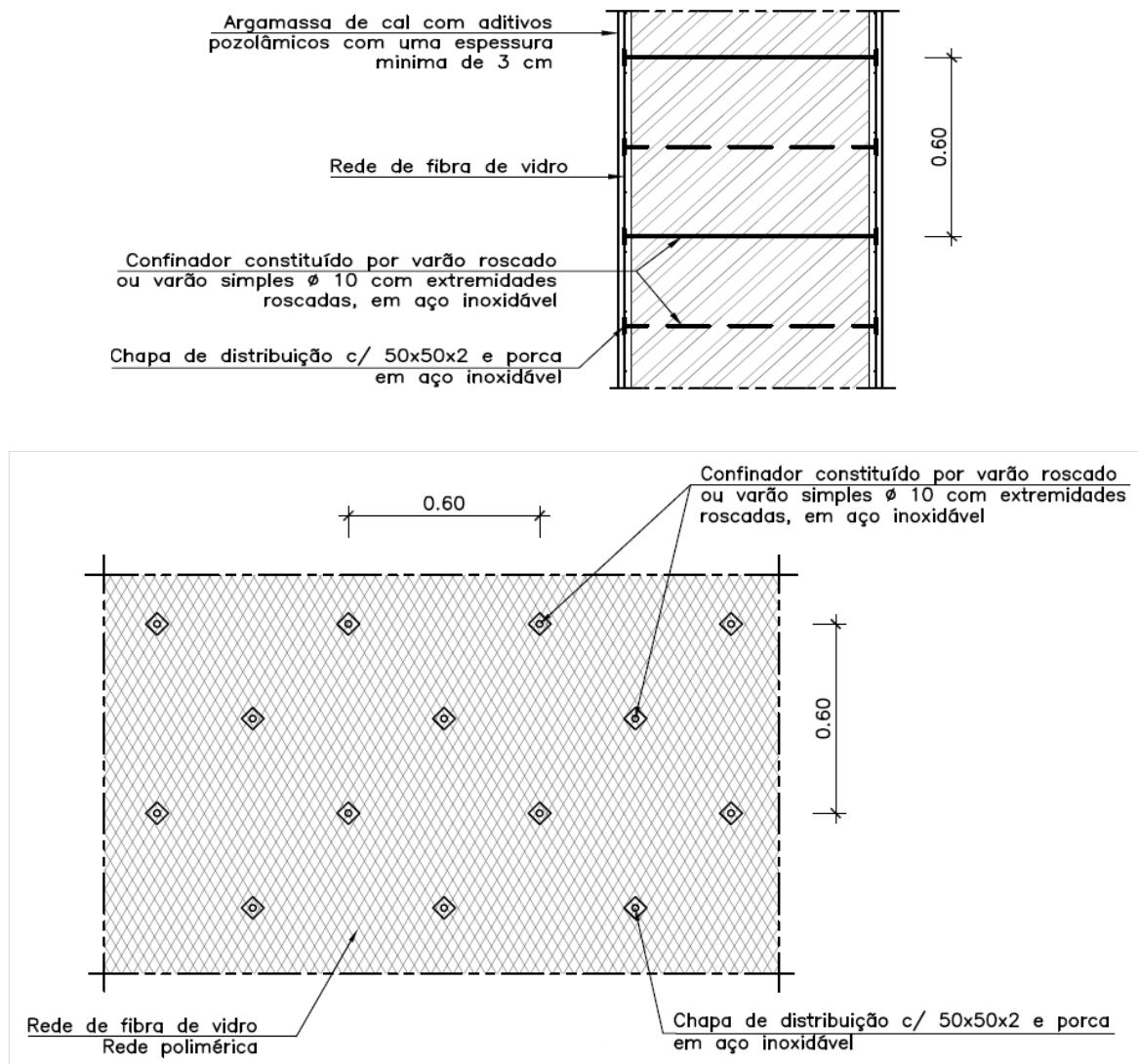


# ANEXOS

## Anexo A - Pormenor de reforço de paredes e abóbodas com reboco armado

(Disponibilizado pelo o Engenheiro Eduardo Monteiro, projetados pela empresa Profico – Projetos, Fiscalização e Consultoria, Lda)

### Reforço das paredes:

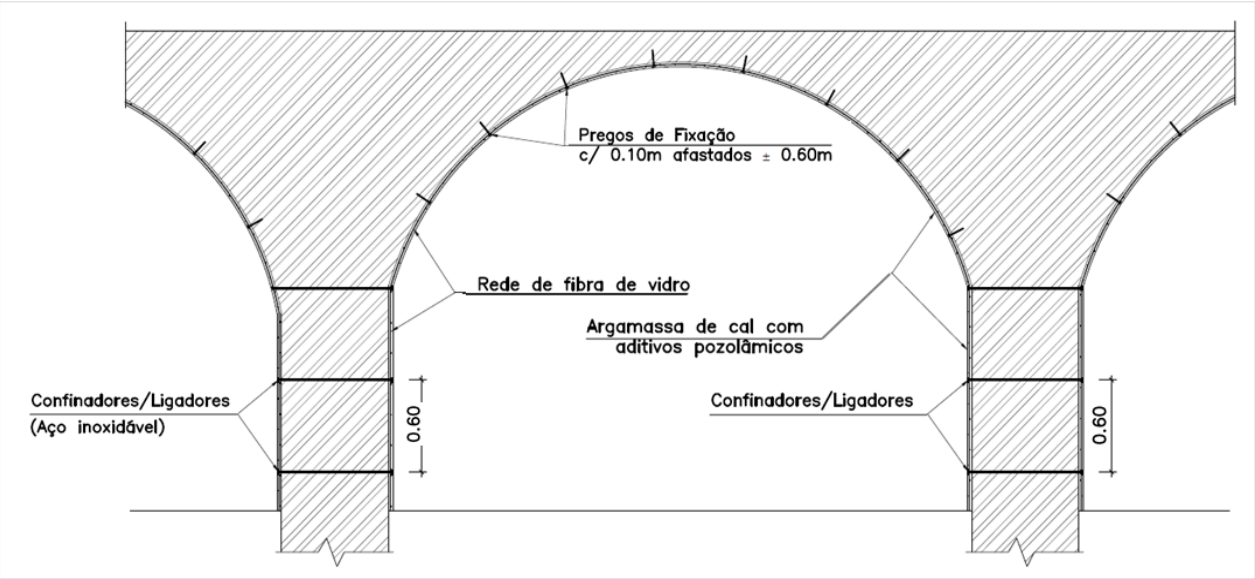


### LEGENDA:

( 1 ) – REBOCO ARMADO CONSTITUIDO POR:

- ARGAMASSA DE CAL AÉREA COM O VALOR CARACTERÍSTICO DE RESISTÊNCIA  $f_{cd} \pm 2.0$  MPa. COM ESPESSURA MÍNIMA DE 3cm.
- CONFINADORES EM AÇO INOX TIPO AISI 316 L.
- REDE DE FIBRA DE VIDRO DE VIDRO TIPO "VIPLÁS Mi 167" OU EQUIVALENTE.

Reforço de abóbodas e paredes existentes:



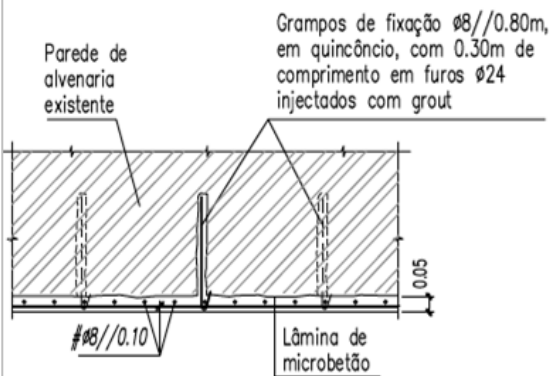
## Anexo B - Pormenor construtivo 1 - edifício da Rua da Salitre, N° 191

Pormenor construtivo da solução de reforço com lâmina de microbetão armada e reboco armado no reforço de paredes da obra de reabilitação do edifício da Rua da Salitre, N° 191.

(Disponibilizadas pela a empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda)

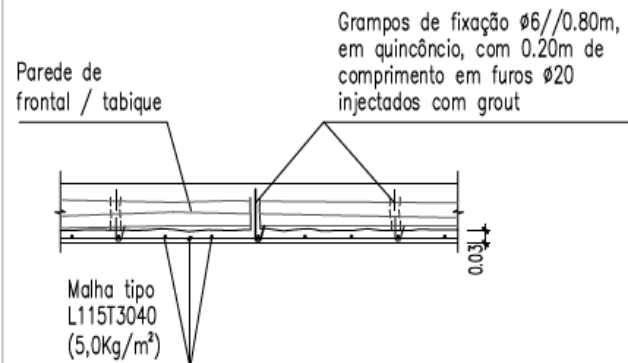
### Tipo 1 (e=0.05) - Paredes de Alvenaria

#### LÂMINA DE MICROBETÃO - Planta tipo



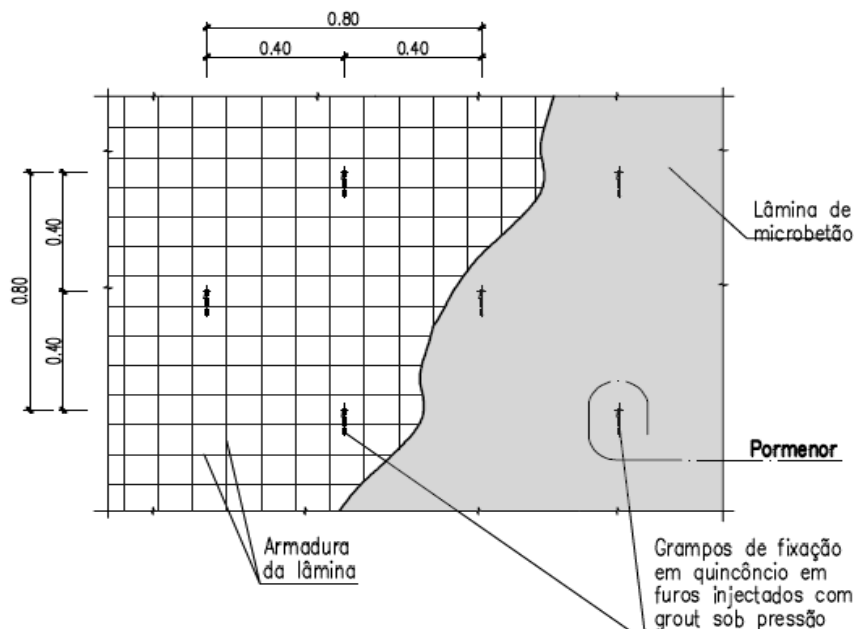
### Tipo 2 (e=0.03m) - Paredes de Frontal ou de Tabique

#### LÂMINA DE REBOCO ARMADO - Planta tipo



### Lâmina em toda a altura do piso

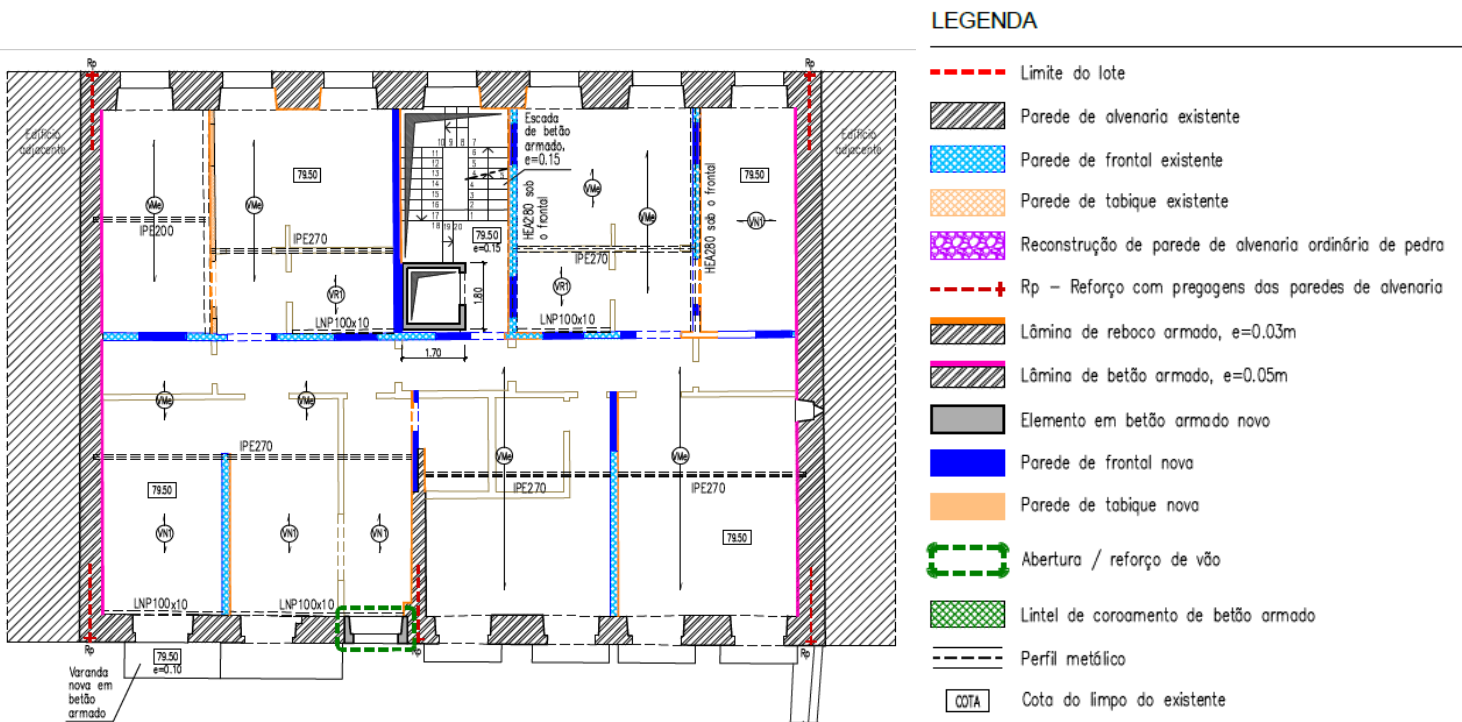
#### Alçado tipo



## Anexo C – Pormenor construtivo 2 - edifício da Rua da Salitre, Nº 191

Indicação das paredes na planta do piso 3 que serão reforçadas com lâminas de reboco armado e microbetão armado na obra de reabilitação do edifício na Rua da Salitre, Nº 191.

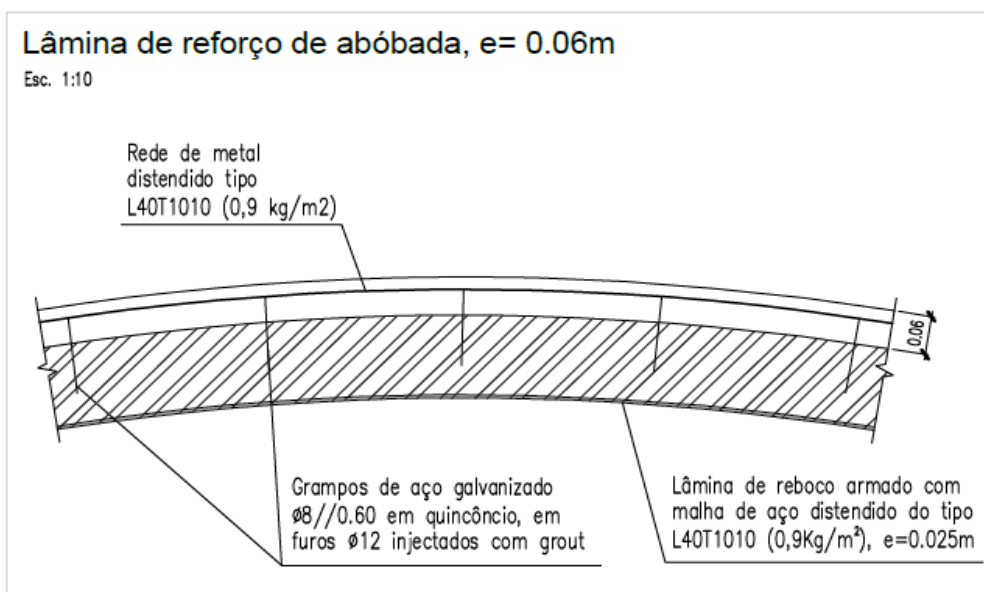
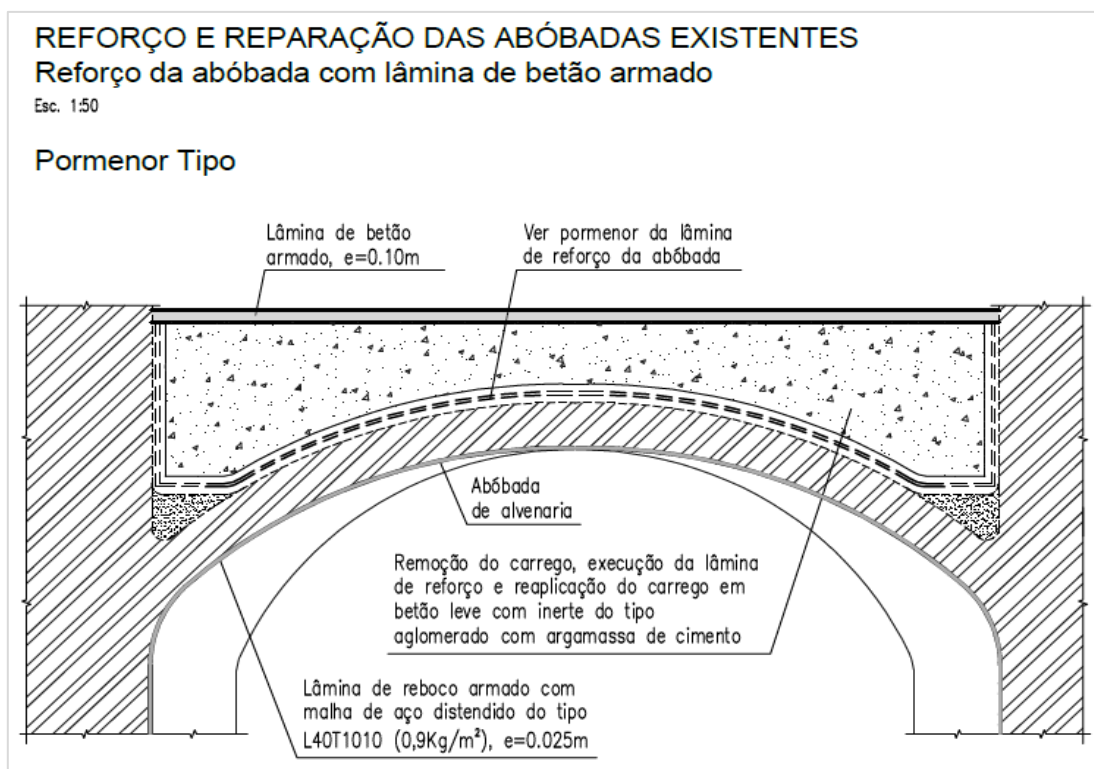
(Disponibilizadas pela a empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda)



## Anexo D – Pormenor construtivo 3 - edifício da Rua da Salitre, Nº 191

Pormenor de reforço das abóbodas com reboco armado a adotar na obra de reabilitação do edifício na Rua da Salitre, Nº 191.

(Disponibilizadas pela a empresa A2P Consult – Estudos e Projectos Lda)

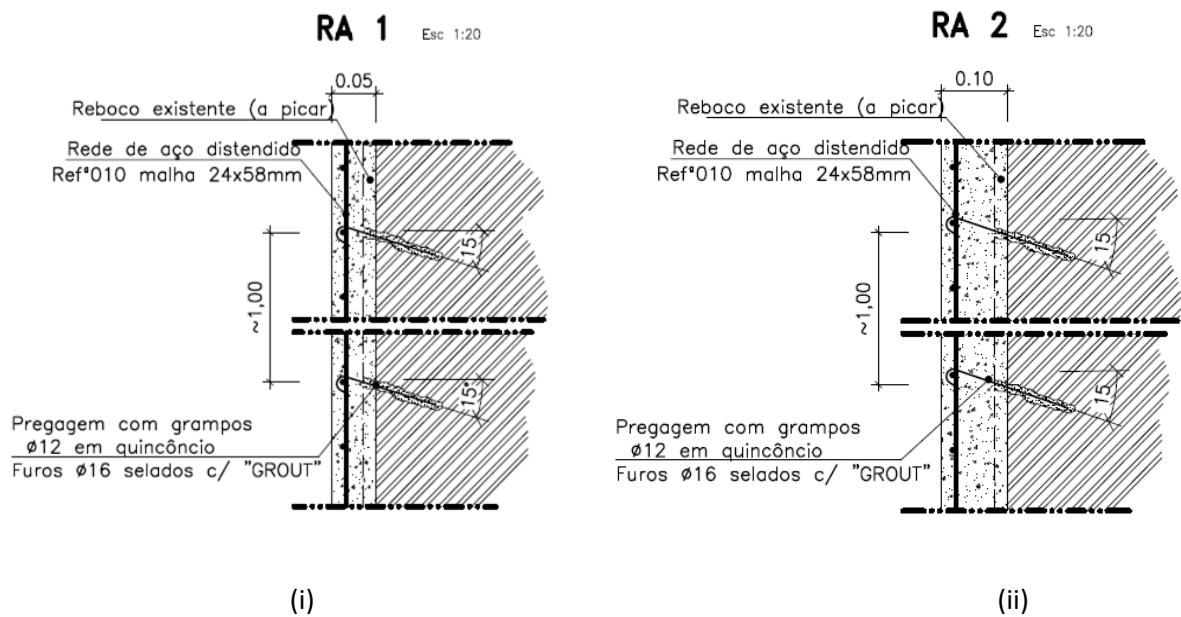


## Anexo E - Pormenor construtivo 1 - edifício da Calçada de Santana, Nº 199

(i) Pormenor construtivo referente à solução de reboco armado com 5 cm de espessura; (ii) Pormenor construtivo referente à solução de reboco armado com 10 cm de espessura a aplicar na obra de reabilitação do edifício da Calçada de Santana, Nº 199.

(Disponibilizado pela a empresa Enescoord)

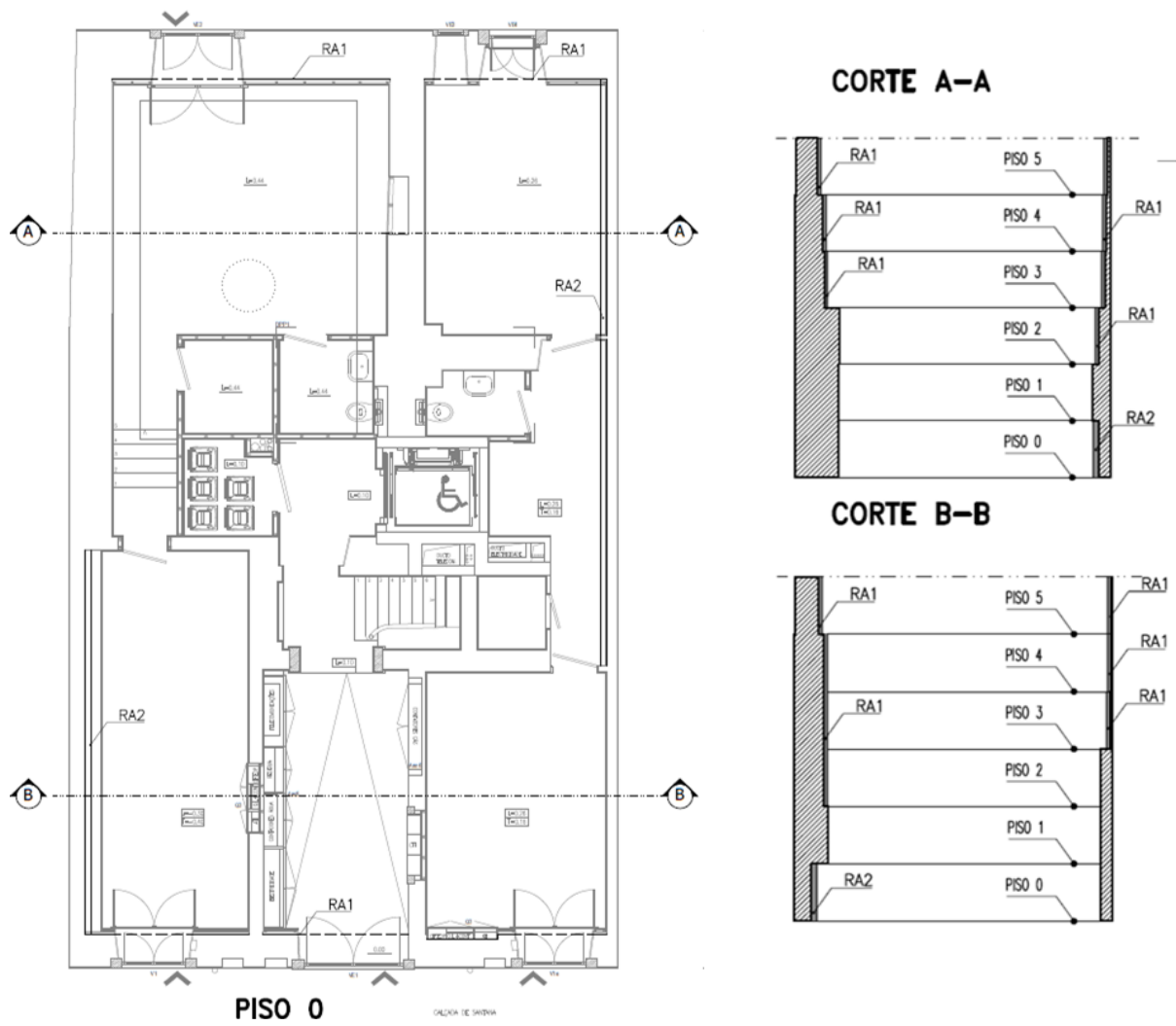
RA1 Reboco Armado esp=5cm (conf. RA 1)  
RA2 Reboco Armado esp=10cm (conf. RA 2)



## Anexo F – Planta do piso 0 e cortes A-A e B-B - edifício da Calçada de Santana, Nº 199

(i) Planta do piso 0 com identificação dos cortes A-A e B-B; (ii) cortes A-A e B-B com a identificação do pormenor construtivo (RA 1 e RA 2) adotado em cada piso na obra de reabilitação do edifício da Calçada de Santana, Nº 199.

(Disponibilizado pela a empresa Enescoord)



(i)

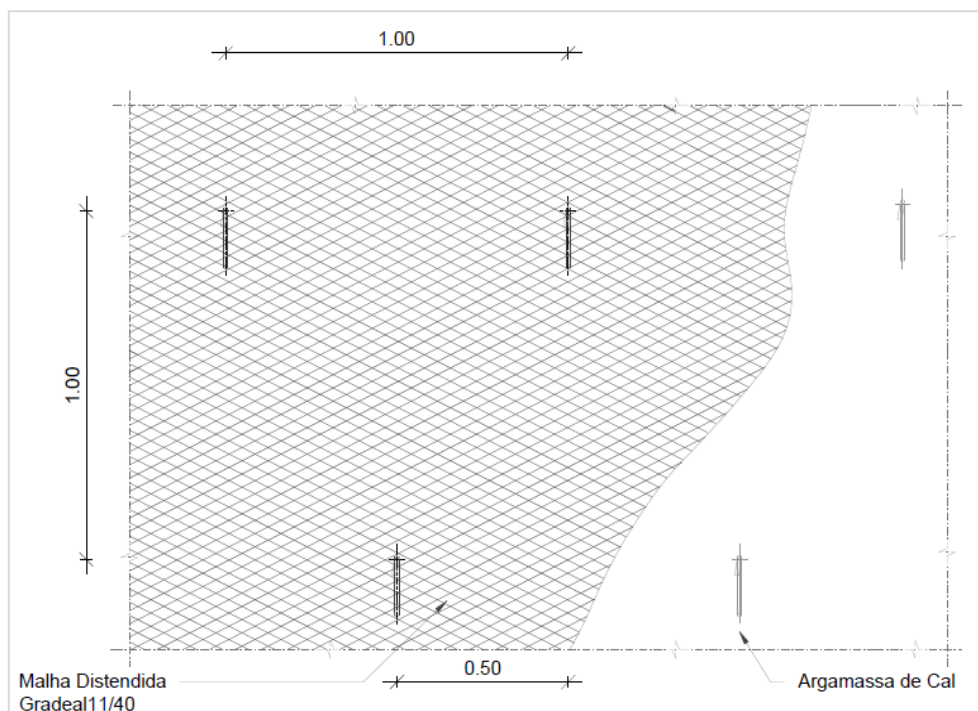
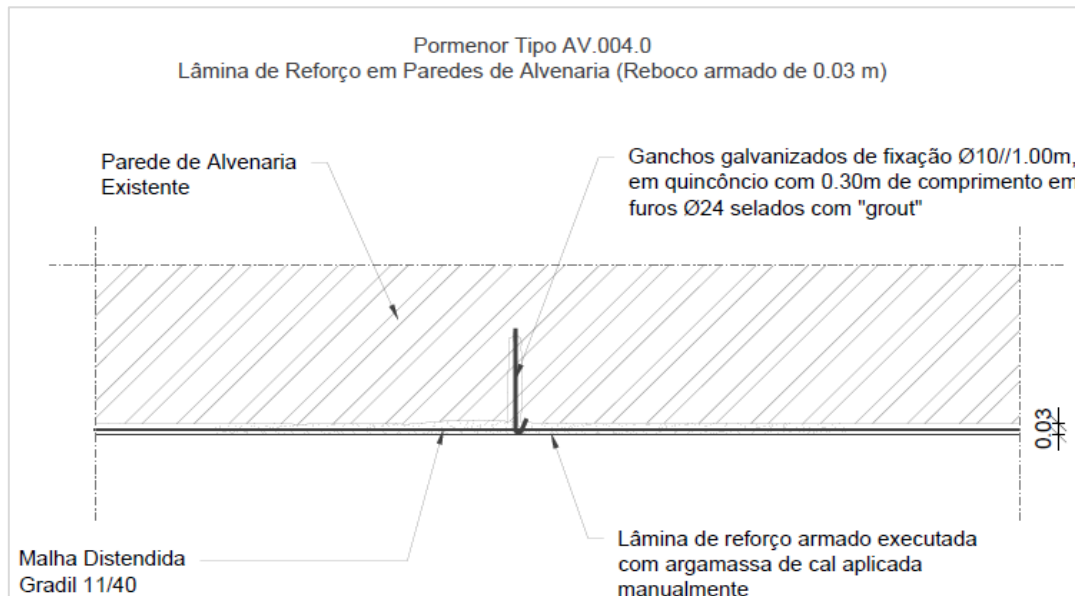
(ii)



## Anexo G - Pormenor construtivo 1 - edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138

Pormenor construtivo da solução de reboco armado a adotar nas paredes de frontal, com 3 cm de espessura, do edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136ª e 138.

(Disponibilizado pela a empresa Enescoord)









## Anexo H – Planta do piso 0, 1, 2 e 3 - edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136<sup>a</sup> e 138

(i) Planta do piso 0; (ii) Planta do piso 1; (iii) Planta do piso 2; (iv) Planta do piso 3 referente à obra de reabilitação do edifício da Rua da Salitre Nº 134, 136, 136<sup>a</sup> e 138.

(Disponibilizado pela a empresa Enescoord)

Legenda:

	Lâmina de reboco armado com 3 cm (com remoção do revestimento existente)
	Lâmina de reboco armado com 3 cm (aplicado sobre o revestimento existente)
	Lâmina de reboco armado com 5 cm (com remoção do revestimento existente)
	Lâmina de reboco armado com 5 cm (aplicado sobre o revestimento existente)



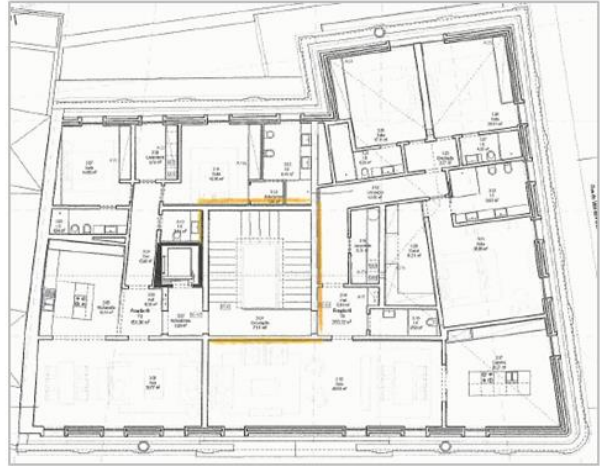
(i)



(ii)



(iii)



(iv)