



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Manual de Controlo de Qualidade para Revestimentos de Fachadas em Pedra

Manuel Prata Ribeiro da Costa

Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Júri

Presidente
Orientador
Vogal

Professor Augusto Martins Gomes
Professor Fernando António Baptista Branco
Professor Pedro Miguel Dias Vaz Paulo

2011

Resumo

A pedra natural é um dos materiais usados há mais tempo na construção devido à sua durabilidade, resistência e à qualidade estética que proporciona às construções.

Actualmente, existe um grande leque de opções disponível para a escolha do tipo de pedra e para o tipo de acabamento que esta pode ter, possibilitando uma ampla variedade de tipos de revestimentos pétreos diferentes. Mas não foi apenas nas placas de pedra que se evoluiu ao longo dos anos; também o método de fixação dessas placas sofreu importantes progressos. É possível, actualmente, optar entre vários métodos de fixação directos ou indirectos das pedras, havendo uma solução adequada para qualquer tipo de pedra e edifício. Para a obtenção de um resultado final de boa qualidade e durabilidade é necessário seguir procedimentos construtivos rigorosos, que diferem de método para método. Erros cometidos na aplicação deste tipo de fachadas podem anular, por completo, as vantagens conhecidas dos revestimentos pétreos.

O objectivo deste trabalho é a elaboração de um Manual de Controlo de Qualidade para revestimentos de fachadas em pedra natural. Com este Manual pretende-se contribuir para minimizar as anomalias e patologias que possam ocorrer durante a vida útil das construções originadas ou amplificadas por uma má escolha ou incorrecta aplicação dos revestimentos.

A implementação de um plano deste tipo é um procedimento altamente recomendável: não envolve custos elevados mas pode trazer importantes benefícios, aumentando a qualidade dos revestimentos e diminuindo a probabilidade de anomalias ao longo da vida útil da obra.

PALAVRAS CHAVE: Manual de Controlo de Qualidade, Revestimentos de Pedra, Placa de Pedra, Fachada, Patologias

Abstract

Natural stone is one of the materials used in building construction, for a long time, due to its durability, strength and the final aesthetic quality of the buildings.

Currently, there is a wide range of options available for choosing the type of stone and of its finishing, allowing many different claddings types. The evolution, over the years, of stone cladding went also along with a significant progress of the type of anchors used to support the stones panels. Different direct or indirect anchorage methods for the stones are now available and there is a suitable solution for any kind of stone or building. A final result of good quality and durability requires the compliance of specific building procedures. The incorrect application of a stone cladding using a technique well known for its good results, may compromise the final outcome.

The aim of this work is the creation of a Quality Control Manual for natural stone in buildings facades cladding. This manual is intended to contribute to the reduction of the anomalies and pathologies that may occur during the lifetime of the buildings caused or amplified by a bad choice or misapplication of the claddings.

The use of a Quality Manual such as the one presented is highly recommended: it does not involve high costs but can give rise to significant benefits, improving the cladding final quality and reducing the likelihood of anomalies throughout the building lifetime, as well as extra expenses.

KEY WORDS: Quality Control Manual, Stone Claddings, Stone Panels, Façade, Pathologies

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todos os que contribuíram, das mais variadas formas, para a realização deste trabalho, nomeadamente:

Ao Professor Fernando Branco, orientador desta dissertação, pelo acompanhamento, grande disponibilidade e apoio sempre demonstrados ao longo de todo o trabalho;

À empresa *BEL - Engenharia e Reabilitação de Estruturas SA*, pela autorização concedida para a realização de visitas às suas obras e, em especial, ao Eng. Rui Rodrigues e ao Encarregado Sr. Rui Lopes pelos úteis esclarecimentos prestados e tempo dispendido durante as visitas. Esta possibilidade de contacto directo com obras em curso foi extremamente importante para este trabalho.

À empresa *2ndWall* pelo conhecimento que me proporcionou sobre os materiais e pelas várias amostras oferecidas.

Ao Eng. Pedro Caneco, que me acompanhou durante a visita às obras da Fundação Champalimaud, por todos os esclarecimentos que então me proporcionou, além do tempo dispendido.

Aos meus Amigos por todos os bons momentos, pela amizade e pelo incentivo dado.

E, em especial, aos meus Pais e Avós, pela confiança, apoio, compreensão e ânimo que sempre me deram e que tanto ajudou durante todo este percurso.

A todos, muito obrigado.

Índice

1 Introdução	1
1.1 Enquadramento da tese	1
1.2 Tipos de rochas naturais	3
1.3 Características das pedras naturais	5
1.4 Diferentes tipos de acabamentos superficiais da pedra natural	7
1.5 Normalização	9
1.6 Tipos de fixação de pedra nas fachadas	13
2 Tipologias de Fachadas	15
2.1 Fixação directa ao suporte	15
2.2 Fixação indirecta ao suporte	18
2.2.1 Agrafos e pontos de argamassa	20
2.2.2 Gatos metálicos	22
2.2.3 Estrutura intermédia de suporte	27
2.2.4 Compatibilidades entre fixações e tipos de suporte.....	30
2.2.5 Campo de aplicação de sistemas de fixação com recurso a chumbadouros	32
3 Métodos construtivos	33
3.1 Fixação directa ao suporte	33
3.2 Fixação indirecta ao suporte	40
3.2.1 Agrafos e pontos de argamassa	41
3.2.2 Gatos metálicos	45
3.2.3 Estrutura de suporte intermédia	59
4 Anomalias - Patologias	67
4.1 Efeitos da água nas pedras	67
4.1.1 Problemas gerais e aplicação de hidrófugos.....	67
4.1.2 Cuidados a ter na aplicação de hidrófugos – patologias resultantes da má aplicação de hidrófugos	68
4.2 Fixação directa ao suporte: Patologias associadas	69
4.2.1 Destacamento ou descolamento de pedras	69
4.2.2 Fracturação ou fissuração	71
4.2.3 Eflorescências	72
4.2.4 Manchas nos elementos pétreos.....	73
4.2.5 Danificação do material de preenchimento das juntas	75
4.3 Fixação indirecta ao suporte: Patologias associadas	75
4.3.1 Agrafos e pontos de argamassa	75
4.3.1.1 Fissuração nas placas de pedra.....	75
4.3.1.2 Manchas localizadas nas zonas dos pontos de argamassa	75
4.3.1.3 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação	76
4.3.1.4 Quebra ou fracturação de placas de pedra	76
4.3.1.5 Infiltrações pela caixa de ar	76

4.3.1.6 Corrosão dos agrafos metálicos.....	77
4.3.2 Gatos Metálicos	77
4.3.2.1 Fissuração nas placas de pedra.....	77
4.3.2.2 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação	78
4.3.2.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra	78
4.3.2.4 Infiltrações pela caixa de ar	78
4.3.2.5 Corrosão dos gatos metálicos.....	79
4.3.3 Estrutura intermédia de suporte	79
4.3.3.1 Fissuração nas placas de pedra.....	80
4.3.3.2 Lascagem do material pétreo nas zonas de fixação.....	80
4.3.3.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra	80
4.3.3.4 Infiltrações pela caixa de ar	80
4.3.3.5 Corrosão dos elementos metálicos.....	80
4.4 Fixação indirecta ao suporte: patologias associadas à fixação mecânica	80
4.4.1 Falha na Expansão.....	81
4.4.2 Falha no suporte	81
4.4.3 Falha do fixador	82
4.4.4 Falha na Instalação.....	82
4.4.5 Cuidados gerais para a aplicação de fixadores mecânicos.....	82
5 Reparação	85
5.1 Fixação directa ao suporte.....	85
5.1.1 Destacamento ou descolamento de pedras	85
5.1.2 Fracturação ou fissuração das placas de pedra	85
5.1.3 Eflorescências	86
5.1.4 Manchas nos elementos pétreos.....	86
5.1.5 Material de preenchimento das juntas danificado.....	87
5.2 Fixação indirecta ao suporte	87
5.2.1 Agrafos e pontos de argamassa	87
5.2.1.1 Fissuração nas placas de pedra.....	87
5.2.1.2 Manchas localizadas nas zonas dos pontos de argamassa.....	87
5.2.1.3 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação	87
5.2.1.4 Quebra ou fracturação de placas de pedra	88
5.2.1.5 Infiltrações pela caixa de ar	88
5.2.1.6 Corrosão dos agrafos metálicos.....	88
5.2.2 Gatos metálicos	88
5.2.2.1 Fissuração nas placas de pedra.....	88
5.2.2.2 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação	88
5.2.2.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra	89
5.2.2.4 Infiltrações pela caixa de ar	89
5.2.2.5 Corrosão dos gatos metálicos.....	89
5.2.3 Suportes com estrutura intermédia.....	89
5.2.3.1 Fissuração nas placas de pedra.....	89
5.2.3.2 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios ou das calhas de fixação	89

5.2.3.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra	89
5.2.3.4 Infiltrações pela caixa de ar	89
5.2.3.5 Corrosão da estrutura de suporte intermédia	90
5.2.4 Fixação mecânica	90
6 Controlo de qualidade	91
6.1 - Verificações gerais para todos os tipos de métodos de fixação	91
6.1.1 Alguns aspectos a verificar antes do início da obra	91
6.1.2 Alguns aspectos a verificar aquando da chegada dos materiais à obra.....	93
6.1.3 Alguns aspectos a verificar nas fachadas onde as placas de pedra vão ser aplicadas	98
6.1.4 Alguns aspectos a verificar durante a execução da obra	99
6.2 - Fixação directa: Verificações específicas	99
6.3 - Fixação indirecta: Verificações específicas	102
6.3.1 Agrafos e pontos de Argamassa.....	102
6.3.2 Gatos Metálicos	103
6.3.3 Estrutura Intermédia de Suporte	105
6.4 Verificações finais gerais após a aplicação do revestimento	107
7 Caso de estudo	109
7.1 Anomalias detectadas	109
7.2 Verificação do Plano de qualidade	118
7.2.1 – Verificações gerais para todos os tipos de métodos de fixação.....	118
7.2.1.1 Alguns aspectos a verificar antes do início da obra	118
7.2.1.2 Alguns aspectos a verificar aquando da chegada dos materiais à obra	119
7.2.1.3 Alguns aspectos a verificar nas fachadas onde as placas de pedra vão ser aplicadas	122
7.2.1.4 Alguns aspectos a verificar durante a execução da obra	122
7.2.2 – Fixação directa: Verificações específicas	122
7.2.3 – Fixação indirecta: Verificações específicas.....	123
7.2.3.1 Agrafos e pontos de argamassa	124
7.2.3.2 - Gatos metálicos	124
7.2.3.3 Estrutura Intermédia de Suporte	125
7.2.4 Verificações finais gerais após a aplicação do revestimento	126
Conclusão	127
Bibliografia	129
Anexo	133
Fichas de Verificação e Controlo	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1.1 - Pormenor do aspecto de placas de rocha magmática	4
Fig 1.2 - Pormenor do aspecto de placas de rocha sedimentar	5
Fig 1.3 - Pormenor do aspecto de placas de rocha metamórfica	5
Fig 1.4 - Diferentes tipos de acabamento para uma placa de calcário moleanos	9
Fig 2.1 - Esquema em corte da aplicação de um agrafio num ponto de argamassa.....	20
Fig 2.2 - Distâncias mínimas recomendadas entre os agrafos e os bordos das placas de pedra	21
Fig 2.3 - Exemplos de gatos metálicos de fixação mecânica para suporte de placas de pedra	22
Fig 2.4 - Exemplo de gato metálico de chumbar para suporte de placas de pedra	22
Fig 2.5 - Distâncias mínimas recomendadas entre os gatos os bordos das placas de pedra	23
Fig 2.6 - Esquema em corte da aplicação de um gato metálico para suporte de placas de pedra	24
Fig 2.7 - Esquema em corte de gatos metálicos.....	24
Fig 2.8 - Esquema ilustrativo da transição da fixação pelos topos verticais para os topos horizontais empregando gatos com meios pinos.....	25
Fig 2.9 - Exemplo de gato metálico usado para suporte de placas de pedra com clivagem.....	26
Fig 2.10 - Exemplo de estrutura de suporte intermédia composta por perfis verticais com gatos metálicos para suporte das pedras	27
Fig 2.11 - Pormenor de elemento vertical da estrutura intermédia de suporte com o gato para fixar as placas de pedra	28
Fig 2.12 - Exemplo de estrutura de suporte intermédia composta por grelha de perfis verticais e horizontais com suporte das pedras através de calhas	28
Fig 2.13 - Exemplo de estrutura de suporte intermédia fixa às lajes dos pisos composta por grelha de perfis verticais e horizontais com suporte das pedras através de calhas que dispensa as fachadas em alvenaria	30
Fig 3.1 – Aplicação do material de assentamento no suporte.....	36
Fig 3.2 - Aplicação de uma placa de pedra sobre o material de assentamento	37
Fig 3.3 - Placa de pedra aplicada e pressionada para garantir o esmagamento dos cordões de cola	37
Fig 3.4 - Marca realizada na fachada para sinalizar a horizontal e a altura onde serão colocados os gatos metálicos.....	46
Fig 3.5 - Marcação do local de fixação dos gatos metálicos com um nível e uma fita métrica	46
Fig 3.6 - Cunhas de PVC para garantir o espaçamento de 5 mm das juntas	47
Fig 3.7 - Abertura dos furos para os chumbadouros	48
Fig 3.8 - Zona onde o isolamento foi cortado na envolvente do gato metálico de fixação mecânica e preenchido com poliuretano expansível	49
Fig 3.9 - Preparação de pequena quantidade de cimento de secagem rápida para preenchimento dos chumbadouros.....	49
Fig 3.10 - Limpeza e molhagem do furo para o chumbadouro	50
Fig 3.11 - Chumbadouro preenchido com cimento de secagem rápida depois de aplicado	50
Fig 3.12 - Aspecto final do chumbadouro depois de alisado com uma talocha.....	50
Fig 3.13 - Camisa plástica usada para a realização de buchas químicas em paredes de alvenaria.....	51

Fig 3.14 - Diversos passos e material necessário para a realização de um chumbadouro com camisa plástica em alvenaria de tijolo	52
Fig 3.15 - Vista em corte do aspecto dos chumbadouros realizados com camisas plásticas no tijolo	52
Fig 3.16 - Diversos passos e material necessário para a realização de um chumbadouro com buchas químicas em betão	53
Fig 3.17 - Exemplo de um fixador mecânico de aparafusar para gatos metálicos.....	54
Fig 3.18 - Realização dos furos verticais nas laterais das placas de pedra para os pinos de suporte dos gatos metálicos	54
Fig 3.19 - Fixação provisória das placas de pedra antes de colocação dos pinos superiores	55
Fig 3.20 - Inserção dos pinos nos gatos superiores da placa de pedra	56
Fig 3.21 - Pino metálico cilíndrico sem batente e camisa plástica para permitir liberdade de movimentos à placa de pedra.....	56
Fig 3.22 - Esquema que ilustra o método de aplicação de pedras nas zonas de ancoragem dos andaimes	57
Fig 3.23 - Exemplo de fachada revestida a pedra realizada com estrutura intermédia de suporte	59
Fig 3.24 - Esquema da instalação das pedras com fixação pelos topos horizontais	61
Fig 3.25 - Esquema da instalação das pedras com fixação pelos topos verticais.....	61
Fig 3.26 - Pormenor de uma estrutura intermédia de suporte onde são visíveis os elementos verticais e horizontais que compõem o sistema.....	63
Fig 3.27 - Máquina para realizar as calhas nos topos das placas de pedra.....	64
Fig 3.28 - Detalhe da calha efectuada na pedra para colocação do clip de suporte.....	64
Fig 3.29 - Detalhe de uma fachada com estrutura intermédia de suporte onde se observa um clips de seguimento para fixar a placa de pedra e as calhas nas pedras	65
Fig 3.30 - Pormenor do tardo de uma placa de pedra com uma reentrância para escoamento de água	66
Fig 4.1 - Fachada de um edifício onde é visível o destacamento de várias placas de pedra	69
Fig 4.2 - Detalhe da fachada de um edifício onde é possível ver o fracturação dos cantos de placas de pedra.....	72
Fig 4.3 - Detalhe de uma fachada de um edifício onde são visíveis eflorescências com maior intensidade nas juntas entre pedras	73
Fig 4.4 - Detalhe de uma fachada de um edifício onde são visíveis manchas nas placas de pedra	73
Fig 4.5 - Pormenor da placas de pedra onde é possível ver a lascagem junto ao gatos de suporte.....	78
Fig 4.6 - Pormenor de um gato metálico corroído.....	79
Fig 4.7 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela falha na expansão deste	81
Fig 4.8 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela falha no suporte onde este foi fixo	81
Fig 4.9 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela falha do próprio fixador.....	82
Fig 4.10 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela escolha errada da localização para o fixador	82
Fig 5.1 - Pormenor da fixação mecânica realizada com parafusos metálicos.....	86
Fig 6.1 - Esquema das medidas e tolerâncias permitidas nos orifícios de fixação das pedras.....	96

Fig 7.1 - Pormenor dum gato metálico fixo com cunhas de madeira	110
Fig 7.2 - Pormenor da fachada com as juntas entre pedras de tamanho insuficiente	111
Fig 7.3 - Pormenor das laterais das pedras com os entalhes para acomodar os gatos	111
Fig 7.4 - Gatos metálicos suportando uma mesma pedra fixos a dois tipos de suportes diferentes: alvenaria e estrutura metálica	112
Fig 7.5 - Pormenor do gato metálico soldado à estrutura metálica do edifício.....	112
Fig 7.6 - Esquema do modo incorrecto de fixação das pedras a dois suportes diferentes	112
Fig 7.7 - Esquema da solução proposta para a colocação dos gatos metálicos e da aplicação das pedras	113
Fig 7.8 - Exemplo de um pino demasiado curto e sem batente utilizado na obra.....	114
Fig 7.9 - Gatos que suportam as pedras do lado interior e exterior do muro soldados um ao outro	115
Fig 7.10 - Esquema dos gatos metálicos que suportam as pedras do lado interior e exterior do muro soldados um ao outro	115
Fig 7.11 - Esquema da solução proposta para o problema com gatos independentes do lado exterior e interior do muro	116
Fig 7.12 - Pormenor de uma placa de pedra fracturada localizada numa zona de passagem	117
Fig 7.13 – Exemplo de descolamento de placas de pedra originados pela incorrecta aplicação das placas	117
Fig 7.14 - Plano de montagem do revestimento usado na obra, com indicações das pedras a usar e localização dos gatos metálicos	118
Fig 7.15 - Pedras à chegada à obra numeradas e identificadas	120
Fig 7.16 - Placas de pedra à chegada à obra, bem acondicionadas e em boas condições.....	120
Fig 7.17 - Pormenor da protecção em plástico para evitar o contacto das pedras com o metal	121

Índice de Quadros

Quadro 1.1: Comparação dos principais parâmetros de vários tipos de rochas	7
Quadro 1.2: Diferentes tipos de ensaios de identificação e caracterização de rochas	10
Quadro 1.3: Valores máximos presentes nas normas para a porosidade aberta e para a absorção de água de diversos tipos de rochas	11
Quadro 1.4: Diferentes tipos de ensaios de caracterização mecânica de rochas	11
Quadro 1.5: Classificação prática dos resultados dos ensaios para a pedra utilizada nas construções	12
Quadro 1.6: Importância de vários parâmetros consoante a localização das placas de pedra na fachada	13
Quadro 2.1: Compatibilidades entre diferentes tipos de fixações e tipos de suporte	31
Quadro 6.1: Tolerâncias permitidas relativamente à espessura das placas de pedra	94
Quadro 6.2: Tolerâncias permitidas relativamente às dimensões laterais das placas de pedra	94
Quadro 6.3: Tolerâncias permitidas relativamente à esquadria das placas de pedra	95
Quadro 6.4: Tolerâncias permitidas relativamente à planeza das placas de pedra	95
Quadro 6.5: Tolerâncias permitidas relativamente aos furos das ancoragens nas placas de pedra	96

1 Introdução

1.1 Enquadramento da tese

A pedra natural é um dos materiais usados há mais tempo na construção devido à sua durabilidade, resistência e à qualidade estética que proporciona às construções. No passado, a sua utilização na edificação de grandes estruturas estava praticamente reservada à construção de monumentos como palácios ou igrejas devido ao elevado custo que envolvia. As pedras usadas eram normalmente aquelas cujas jazidas se encontravam próximas do local de construção, sendo mais raro o transporte de pedras ao longo de grandes distâncias. O local da obra e consequentemente a zona de onde a pedra era extraída assumia portanto um papel fulcral na escolha do tipo de pedra a usar. Eram construções extremamente duráveis, como prova o facto de grande parte delas ainda perdurarem nos nossos dias.

Desde a utilização mais generalizada das estruturas de betão armado no século XX, a pedra passou a ter uma função apenas quase exclusivamente de revestimento, perdendo a sua função de elemento resistente da estrutura. Os revestimentos em pedra natural não perderam, no entanto, as suas características que tanto foram apreciadas, como a “nobreza” que conferem a uma estrutura e a qualidade como material de revestimento, sendo por isso ainda usados com frequência actualmente. Além disso, como o nosso país é um dos maiores produtores de pedra natural, tanto no que diz respeito à sua extracção como ao seu tratamento, é expectável que o uso deste tipo de revestimentos aumente ainda mais. Hoje em dia o tipo de pedra a usar já não depende da localização da obra, pois é possível transportar pedra de qualquer parte do mundo; o leque de opções de que se dispõe para a escolha do tipo de pedra aumentou portanto de forma substancial. Além da maior quantidade de pedras disponíveis, também o tipo de acabamento que se pode dar à pedra sofreu inúmeras variações que possibilitam uma enorme quantidade de tipos de revestimentos pétreos diferentes. Mas não foi apenas nas placas de pedra que se evoluiu ao longo dos anos; também o tipo de fixação dessas placas sofreu importantes progressos. É possível actualmente optar por vários tipos de métodos de fixação directos ou indirectos das pedras, havendo uma solução adequada para qualquer tipo de pedra e edifício.

No entanto, mesmo tendo em conta as boas características de durabilidade da pedra, verifica-se que alguns edifícios relativamente recentes revestidos a pedra apresentam anomalias ou patologias. Qualquer tipo de defeitos num edifício pode trazer problemas mas, quando as anomalias se localizam nas fachadas destes, a situação é mais grave. As anomalias nas fachadas comprometem, na maioria das vezes, a estética de todo o edifício além de poderem causar problemas de infiltrações e falta de isolamentos. Além disso, acarretam despesas adicionais ao empreiteiro em caso de anomalias detectadas durante o período de garantia dos trabalhos executados. Quando estamos a tratar de placas pedras fixas ao exterior dos edifícios existe ainda outra situação que não pode ser desprezada: o risco de desprendimento e queda das pedras que podem pôr em perigo pessoas. Como vimos, patologias e defeitos em fachadas podem ser extremamente graves, havendo portanto todo o interesse em minimizar as causas que lhes podem dar origem.

Em todos os tipos de técnicas de revestimento de fachadas, para a obtenção de um resultado final de boa qualidade e que seja durável, é necessário seguir procedimentos construtivos que diferem

consoante o suporte onde se está a instalar a pedra, o método de fixação escolhido, o tipo de pedra aplicada entre outros factores. No entanto, nem em todas as obras estes procedimentos são seguidos, quer seja por desconhecimento dos mesmos, por razões económicas, por falta de formação dos aplicadores, por falta de fiscalização ou por outros motivos. A aplicação incorrecta de um revestimento de fachadas usando uma técnica de revestimentos que, à partida, garantiria bons resultados pode comprometer o resultado final. Estas situações penalizam gravemente a utilização das rochas ornamentais, gerando ainda má informação sobre a durabilidade da pedra e criando preconceitos.

Muitas das alterações estéticas e funcionais indesejáveis que ocorrem no decurso da vida útil de uma obra revestida a pedra não estão directamente relacionadas com os tipos de pedra utilizados mas resultam de uma escolha inadequada ou da má colocação dos sistemas de fixação. Erros de aplicação neste tipo de fachadas podem anular por completo as vantagens conhecidas das fachadas revestidas a pedra, acarretando ainda investimentos avultados ao longo da vida da obra para a regularização dos defeitos.

Este Manual de Controlo de Qualidade que se enquadra na unidade curricular “Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil” tem portanto como objectivo sistematizar os passos necessários para a correcta aplicação de revestimentos de pedra. Desta forma espera-se contribuir para minimizar as anomalias e patologias que possam ocorrer durante a vida útil das construções originadas ou amplificadas por uma má escolha ou incorrecta aplicação dos revestimentos.

Esta dissertação está mais focada nas operações realizadas em obra, saindo já fora do âmbito deste relatório todo o trabalho de projecto como o dimensionamento dos suportes, etc. que tem de ser sempre previamente executado.

Esta dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, com o conteúdo de cada capítulo descrito de seguida.

O **Capítulo 1** apresenta uma introdução geral à dissertação, onde são descritos os diferentes tipos de rochas que existem, as diferentes características das pedras naturais, os diversos tipos de acabamentos que se podem aplicar nas pedras e, por fim, um resumo dos diversos ensaios que podem ser realizados às pedras naturais para saber as suas características mais importantes e para permitir avaliar a adequabilidade dos revestimentos às condições de utilização.

No **Capítulo 2** são identificados vários tipos de métodos para fixar pedras naturais a fachadas. São distinguidos dois métodos de fixação directa (colagem e selagem) e três métodos de fixação indirecta de pedras a fachadas (com agrafos e pontos de argamassa, com gatos metálicos e com estrutura intermédia de suporte). Existem outros métodos de fixação de pedras mas estes foram escolhidos para apresentação por serem os que mais correntemente são usados em construções. Neste capítulo os métodos de fixação são descritos e é referido o seu campo de aplicação, bem como as suas limitações. É ainda apresentado um quadro que ilustra a compatibilidade dos diferentes tipos de fixação com os vários tipos de suporte que podemos encontrar num edifício, bem como os requisitos para se poderem

realizar chumbadouros.

O **Capítulo 3** trata dos métodos construtivos que têm de ser empregues para realizar de forma adequada os diferentes tipos de fixações de pedra. Está dividido em várias secções que representam as etapas necessárias para a aplicação de um revestimento, como a preparação do suporte ou a realização dos furos nas pedras, por exemplo, para cada um dos métodos apresentados.

O **Capítulo 4** reúne as patologias e anomalias que são mais comuns de ocorrerem nos vários tipos de revestimentos. Tem uma introdução geral comum a todos os métodos que trata das patologias causadas pela água e do cuidado a ter no uso de produtos hidrófugos. Está depois dividido por secções, onde cada uma delas corresponde a um tipo de fixação, apresentando assim as diversas patologias de cada método de fixação das placas de pedra.

No **Capítulo 5** apresentam-se os passos a seguir para a reparação das patologias referidas no capítulo anterior. Aqui apresentam-se, de forma simplificada sem descrever a totalidade dos passos, as principais operações a realizar no que diz respeito às reparações.

No **Capítulo 6** é proposto um plano de controlo de qualidade para os diferentes tipos de fixação. Este plano tem um tronco comum aos vários tipos de fixação, e controlos adicionais específicos para cada método de fixação. Apresenta algumas verificações que devem ser feitas antes de realizar a obra, durante o decorrer da obra e no final da instalação dos elementos pétreos. Desta forma permite garantir que os revestimentos foram aplicados segundo os procedimentos correctos.

Por fim, o **Capítulo 7** é de teor mais prático já que descreve as observações realizadas na obra visitada para a realização deste trabalho. O edifício analisado estava em trabalhos de remoção do revestimento das fachadas e aplicação de um novo revestimento, com fixação indirecta, recorrendo a gatos metálicos. Numa primeira parte, apresenta-se a lista de patologias e anomalias presentes na obra visitada antes das obras de beneficiação. Foram essas anomalias que levaram à necessidade de realizar as obras de substituição do revestimento. Numa segunda parte, e já durante a obra de requalificação a que esse edifício foi sujeito, pôs-se em prática o plano de controlo de qualidade apresentado no Capítulo 6.

1.2 Tipos de rochas naturais

As rochas naturais são agregados coerentes de minerais ou de substâncias sólidas e provêm de formações geológicas originadas de forma natural. Para compreender as propriedades das rochas usadas na construção é importante conhecer o processo de formação destas e as suas principais características. As rochas podem ter origem em três ambientes que diferem entre si em termos de temperatura, pressão e composição química, dando assim origem a três famílias de rochas: as rochas magmáticas, as rochas sedimentares e as rochas metamórficas. Descrevem-se, de seguida, as principais características dos três tipos de rochas que podem ter influência para a escolha de revestimentos, sem no entanto entrar em grandes detalhes no que diz respeito a caracterizações mineralógicas e petrográficas [1].

As **rochas magmáticas**, que podem também ser apelidadas de rochas ígneas ou eruptivas, derivam directamente da consolidação, arrefecimento e cristalização do magma, a uma certa profundidade da crosta terrestre ou à superfície, por acção vulcânica. Se o magma solidificar a grande profundidade as rochas formadas denominam-se de plutónicas ou intrusivas como é o caso do sienito, granito ou gabro. Se a solidificação se der à superfície as rochas formadas designam-se de vulcânicas ou extrusivas tal como o basalto [2]. Consoante os minerais que constituem as rochas magmáticas, estas apresentam uma grande gama de tonalidades, sendo em geral pouco porosas, duráveis e resistentes mecanicamente [3]. Os granitos, por exemplo, apresentam em geral uma boa resistência aos ciclos gelo-degelo, sendo por isso uma boa escolha para climas frios ou com grandes amplitudes térmicas [1]. Apresentam-se dois exemplos de rochas magmáticas na figura 1.1.

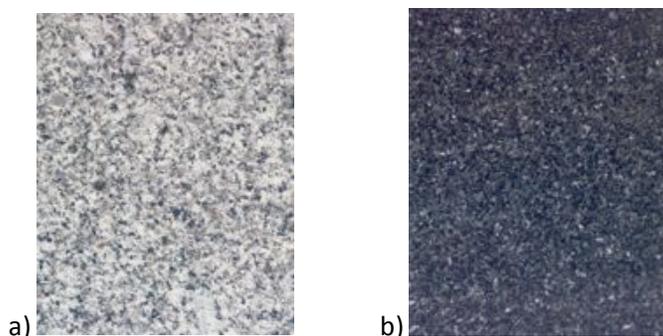


Fig 1.1 - Pormenor do aspecto de placas de rocha magmática: a) placa de granito b) placa de gabro [4]

As **rochas sedimentares** têm origem em depósitos de fragmentos sedimentares. Estes podem resultar da desagregação de rochas exercida por agentes atmosféricos, pelas plantas ou pelos animais, (arenitos por exemplo), ou podem resultar do aglomerado de resíduos de fósseis e plantas, formando assim os calcários (brechas, calcário lioz ou calcário travertino por exemplo). Estas rochas sedimentares têm uma estrutura estratificada dispostas em camadas de espessura variável e apresentam características físicas, químicas e mecânicas variadas entre si. No geral podem ser descritas como bastante porosas, sendo portanto susceptíveis de absorverem a água. O calcário é ainda bastante frágil ao ataque por ácidos (chuvas ácidas por exemplo que são comuns em ambientes citadinos) [3]. Apresentam-se de seguida (figura 1.2) dois exemplos de rochas sedimentares.

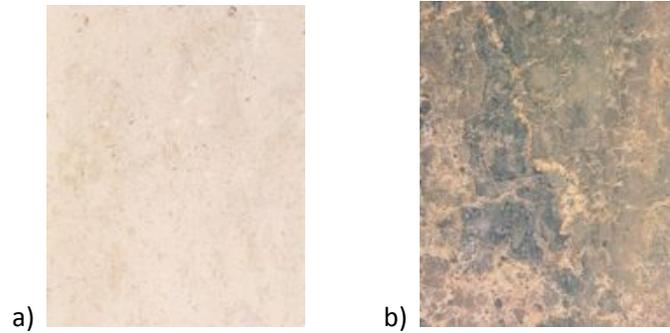


Fig 1.2 - Pormenor do aspecto de placas de rocha sedimentar: a) placa de calcário moleanos b) placa de brecha acinzentada [4]

As **rochas metamórficas** formam-se da alteração de rochas já existentes (magmáticas, sedimentares ou metamórficas), quando são sujeitas a certas condições de pressão e temperatura diferentes das da sua génese. Apresentam uma grande variância das suas características, sendo os mais comuns os mármore, as ardósias ou os gneisses [2]. Os mármore são bastante usados em revestimentos (na figura 1.3 são apresentados dois exemplos de mármore) enquanto as ardósias são mais comumente usadas em coberturas [3].

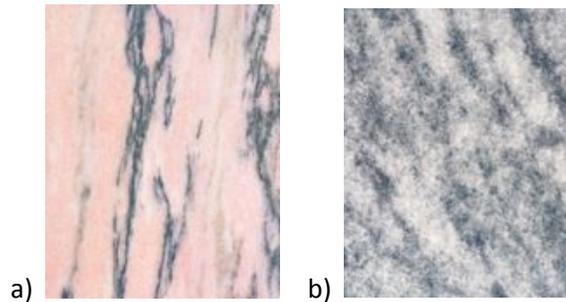


Fig 1.3 - Pormenor do aspecto de placas de rocha metamórfica: a) placa de mármore rosa b) placa de mármore cinzento [4]

1.3 Características das pedras naturais

A escolha do tipo de pedra a usar no revestimento dum edifício baseia-se muito em factores estéticos, tais como a cor, a textura, a homogeneidade e o acabamento dos elementos pétreos. No entanto, os aspectos técnicos não podem de forma alguma ser descurados nem relegados para segundo plano em relação aos critérios estéticos e podem, em certos casos condicionar os tipos de pedras passíveis de serem utilizados numa fachada.

Como as pedras têm origens diferentes, as suas características físicas, químicas e mecânicas também diferem bastante. Algumas características têm maior influência na durabilidade e na qualidade destas

quando aplicadas em fachadas, tais como a resistência, a textura, a homogeneidade e o comportamento das pedras à água.

A resistência à compressão numa pedra depende da estrutura da própria pedra, da sua densidade e da humidade a que esta se encontra. Geralmente, quanto mais compacta é uma pedra maior a sua resistência e quanto mais saturada de água estiver menor a sua resistência [3].

A absorção de água nas pedras depende de vários factores como a pressão, a temperatura ambiente e características das pedras tais como a sua porosidade, compacidade ou permeabilidade.

A **porosidade** das pedras é uma grandeza que estabelece a ligação entre o volume de vazios e o volume total numa pedra; serve para quantificar o grau de saturação numa pedra natural. Quanto maior for a porosidade numa pedra mais ela vai absorver água; no entanto, há que referir que duas pedras com a mesma porosidade podem ter capacidades de absorção diferentes devido a diferentes disposições dos poros das pedras [3]. Considera-se que uma rocha tem porosidade muito elevada quando o seu valor é superior a 10% e muito baixa quando este é inferior a 0,5% [1].

A **compacidade** numa pedra é o inverso da porosidade: trata-se da relação entre o volume de matéria numa pedra e o volume total da pedra. Quanto mais compacta for uma pedra menor volume de vazios terá e menor será a sua porosidade [3].

Outra propriedade das pedras que também está relacionada com a porosidade é a **permeabilidade** destas; a permeabilidade avalia a facilidade que um fluido ou gás tem para atravessar a pedra. Uma pedra porosa terá grande permeabilidade mas uma pedra com grande permeabilidade não é forçosamente porosa; pode apenas ter várias fissuras que facilitam um fluido de atravessar o elemento pétreo [3].

Por fim, outra característica das pedras relacionada com a absorção de água é a **higroscopicidade**, que é a capacidade que os materiais têm de absorver e reter a humidade existente no ambiente. A higroscopicidade pode dar origem a fenómenos de gelividade, ou seja, a solidificação da água presente no interior da pedra devido a temperaturas negativas que, ao aumentar de volume causa a fragmentação das pedras. Esta característica revela-se importante quando as construções estão localizadas em locais muito frios ou de grandes amplitudes térmicas [3].

Podemos agrupar algumas destas características num quadro (quadro 1.1) que apresenta os valores da massa volúmica aparente, da absorção de água à pressão atmosférica, da porosidade aberta e da resistência à compressão de alguns tipos de rochas. Este quadro apresenta os intervalos de valores médios, visto que dentro de cada categoria os valores diferem de rocha para rocha. Para se obter os valores precisos de um determinado tipo de rocha podemos consultar o Manual de Pedra Natural para a Arquitectura que disponibiliza nos seus anexos esta informação mais detalhada para todos os tipos de rochas. A utilidade deste quadro não está tanto nos valores absolutos que apresenta mas na possibilidade que dá de comparar os valores dos vários tipos de pedra entre si.

Tipos de Rochas	Massa Volúmica (kg/m ³)	Absorção de água à Pressão Atmosférica (% do peso)	Porosidade Aberta (% do volume)	Resistência à Compressão (MPa)
Arenitos	1900 a 2600	0,6 a 13,8	16 a 6,0	20 a 100
Basaltos	2900 a 3000	0,1 a 0,3	0,2 a 0,8	165 a 345
Calcários	2600 a 2800	0,2 a 0,5	0,4 a 1,5	115 a 235
Dioritos e Gabros	2800 a 3000	0,1 a 0,4	0,2 a 1,0	145 a 295
Granitos	2600 a 2800	0,2 a 0,5	0,4 a 1,5	115 a 235
Mármore	2600 a 2900	0,2 a 0,8	0,3 a 1,8	60 a 175
Xistos	2600 a 2800	0,4 a 1,5	1,2 a 3,5	30 a 65

Quadro 1.1: Comparação dos principais parâmetros de vários tipos de rochas [1]

1.4 Diferentes tipos de acabamentos superficiais da pedra natural

O acabamento da pedra tem simultaneamente uma grande influência na questão estética, pois altera muito o aspecto dos elementos pétreos, mas também altera as propriedades da pedra, nomeadamente no que diz respeito à sua absorção de água. Existem muitos tipos de acabamentos aos quais as pedras podem ser submetidas; no entanto nem todos os tipos de acabamentos são compatíveis com todos os tipos de pedras. Referem-se, em seguida, alguns dos acabamentos mais usuais para pedras.

Acabamento Polido: Um acabamento liso e brilhante obtido a partir de lustração pela acção de cabeças rotativas que friccionam a superfície da pedra com abrasivos de granulometria decrescente, finalizando com cabeças de feltro para que a superfície reflecta a luz [5]. É usado tanto em mármore como em granitos e realça a coloração completa dos materiais, bem como as suas características específicas (o grão, os veios, etc.) [6].

Acabamento Bujardado: Acabamento obtido a partir de impactos na pedra com uma bujarda (martelo em aço com dentes triangulares) dando um aspecto poroso e uniforme às pedras [2]. É indicado somente para rochas ornamentais com espessura igual ou superior a 2,0 cm. É de notar que este acabamento esbate a coloração dos materiais, esbranquiçando-os ligeiramente [6].

Acabamento Bruto: Nestes casos as pedras podem não levar nenhum tipo de acabamento, apresentando assim as suas características naturais. As pedras com acabamento bruto são apenas serradas nas dimensões e espessuras desejadas, ficando a sua superfície com uma textura não completamente lisa ao toque. Este acabamento, que não realça a cor dos materiais mas também não a esbate, é o acabamento mais económico pois todos os outros são realizados sobre o material serrado [6].

Acabamento Flamejado: Acabamento indicado para rochas com espessura igual ou superior a 2,0 cm mas não podendo ser aplicado em todas as rochas pois é feito à base de fogo com um maçarico [6]. Dá um aspecto rugoso, macio e ondulado à superfície da pedra, esbate a coloração original do material e realça as diferentes cotas de relevo da pedra através das variações de coloração que o fogo provoca [5].

Acabamento com Jacto de Areia ou Areado: Acabamento feito com de jactos de água e areia, criando uma textura final semipolida que dá um aspecto opaco às pedras; encontra-se a meio termo entre o acabamento bujardado e o acabamento bruto. Este acabamento é menos rugoso que o bujardado e mais irregular ao toque do que o bruto, deixando transparecer mais a coloração do material do que o bujardado mas menos do que o bruto [6].

Acabamento Escacilhado: Acabamento tradicional, feito manualmente a partir de impactos de uma ferramenta metálica na pedra, tal como um cinzel ou uma ponteira, de forma a que esta quebre irregularmente [6]. O resultado final é uma superfície rugosa e irregular [2].

Acabamento Apicoado: A realização deste tipo de acabamento é similar ao escacilhamento, e também é feito manualmente a partir de impactos de uma ferramenta manual específica na pedra mas de forma a que se criem pontos de rotura uniformes na pedra [6]. O resultado final é uma superfície rugosa mas regular [5].

Acabamento Amaciado: Com este acabamento cria-se uma superfície suave, totalmente lisa e plana, que mostra a verdadeira coloração dos materiais sem ter o brilho do acabamento polido [6]. O processo de obtenção deste tipo de acabamento é semelhante ao acabamento polido com a diferença de que não se usam os abrasivos de granulometria mais fina [5].

Acabamento Riscado: Para a obtenção deste tipo de acabamento é necessário maquinaria específica tal como uma fresa própria e relativamente mais tempo de produção, o que acaba por tornar este acabamento num dos mais dispendiosos [6].

O tipo de acabamento pode fazer diferir bastante o aspecto duma placa de pedra. Apresentam-se na figura 1.4 alguns exemplos de diferentes acabamentos para uma placa de pedra em calcário moleanos.

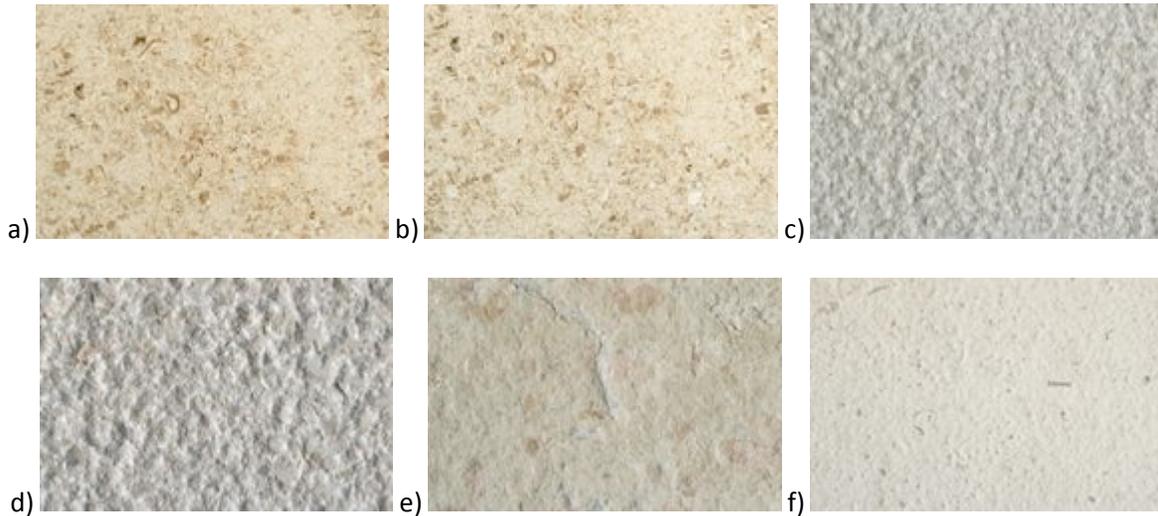


Fig 1.4 - Diferentes tipos de acabamento para uma placa de calcário moleanos a)Acabamento polido b)Acabamento amaciado c)Acabamento bujardado médio d)Acabamento bujardado grosso e)Acabamento flamejado f)Acabamento escovado [7]

Como já foi referido acima, a escolha do tipo de acabamento para os elementos pétreos não pode ser tomada unicamente tendo em conta os critérios estéticos mas deve ter em consideração a natureza da pedra escolhida e a função que esta vai desempenhar. O tipo de acabamento terá uma grande importância nas propriedades das pedras; pode referir-se, por exemplo, que uma pedra pouco porosa sujeita a um acabamento polido ou flamejado pode ser considerada impermeável; por outro lado, acabamentos mais grosseiros como o bujardado, que aumentam a área exposta da pedra devido às suas irregularidades, tornarão a pedra mais porosa, menos impermeável e mais sujeita à acção dos elementos externos [2].

Além disso, nem todos os tipos de pedras são compatíveis com todos os acabamentos. Os granitos são as rochas que permitem um maior leque de acabamentos mantendo a sua qualidade e estética; é possível aplicar num granito um acabamento bujardado, escacilhado, amaciado, polido, areado e flamejado. Num mármore, apenas costuma ser possível realizar acabamentos polidos, amaciados ou areados visto que é difícil obter resultados satisfatórios nos outros acabamentos. Quanto ao calcário, geralmente apenas são aconselháveis os acabamentos amaciado, polido e escacilhado [1].

1.5 Normalização

A execução de ensaios laboratoriais para a determinação das características físicas e mecânicas das pedras naturais é um procedimento indispensável para avaliar a adequabilidade dos revestimentos às

condições de utilização. Com estes ensaios é possível obter valores característicos dos materiais que podem ser usados para comparar materiais entre eles ou para verificar a conformidade de um tipo de material com os regulamentos em vigor. O Comité Técnico para as Pedras Naturais (CEN/TC 246 Natural Stones), pertencente ao Comité Europeu para a Normalização (CEN), desenvolveu um conjunto de normas que vigoram no mercado comum europeu, que estão integradas na Directiva Produtos de Construção (CPD 89/106/EEC). Estas normas tornaram-se Documentos Nacionais de Aplicação (DNA) o que permitiu a uniformização dos requisitos relativamente às pedras naturais em todos os países pertencentes ao CEN. Deste modo, qualquer produtor de pedra pode importar ou exportar rochas naturais apenas com a certificação europeia – marcação CE – sem ter de sujeitar os seus produtos individualmente às regras presentes nos outros países.

A norma portuguesa NP EN 1469 especifica os requisitos e as características que as placas de pedra natural têm de ter para poderem ser usadas como revestimentos [1]. Para obter a certificação, os produtores têm de submeter os seus produtos a ensaios de dois tipos: os ensaios de identificação e caracterização física e os ensaios de caracterização mecânica. Os primeiros têm por objectivo determinar as características básicas das pedras naturais em termos macro e microscópico bem como as suas principais propriedades físicas. O Comité Europeu para a Normalização definiu uma série de ensaios necessários que são apresentados no quadro 1.2, juntamente com a identificação das normas do CEN onde se explica mais em pormenor cada ensaio.

Ensaio de identificação e caracterização	Normas
Terminologia	EN 12670
Determinação das características geométricas das unidades	EN 13373
Estudo Petrográfico	EN 12407
Determinação da massa volúmica real e aparente e da porosidade total e aberta	EN 1936
Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear	EN 14581
Determinação da absorção de água à pressão atmosférica	EN 13755
Determinação do coeficiente de absorção de água por capilaridade	EN 1925
Determinação da Resistência ao gelo	EN 12371
Determinação da Resistência à cristalização de sais	EN 12370
Determinação da Resistência ao envelhecimento por choque térmico	EN 14066

Quadro 1.2: Diferentes tipos de ensaios de identificação e caracterização de rochas [1]

Apresentam-se no quadro 1.3, a título de exemplo, alguns dos valores máximos presentes nas normas para a porosidade aberta e para a absorção de água de diversos tipos de rochas mais usadas em revestimentos.

Tipo de Pedra	Porosidade Aberta	Absorção de água à pressão atmosférica
Granitos	1,0%	0,4%
Mármore	3,0%	0,2%
Calcários	4,0%	3,0%
Ardósias	2,5%	0,6%

Quadro 1.3: Valores máximos presentes nas normas para a porosidade aberta e para a absorção de água de diversos tipos de rochas [1]

Os ensaios de caracterização mecânica de rochas mais comuns são os da resistência à compressão, de resistência à tracção por flexão sob momento constante e sob carga centrada e o de resistência das ancoragens. No quadro 1.4 estão listados todos os ensaios de resistência mecânica bem como a referência da norma do CEN.

Ensaio de caracterização Mecânica	Normas
Determinação da Resistência à compressão	EN 1926
Determinação da Resistência à flexão sob carga centrada	EN 12372
Determinação da Resistência à flexão sob momento constante	EN 13161
Resistência às ancoragens – carga de rotura ao nível do orifício da ancoragem	EN 13364
Determinação do módulo de elasticidade dinâmico	EN 14146
Determinação do módulo de elasticidade estático	EN 14580

Quadro 1.4: Diferentes tipos de ensaios de caracterização mecânica de rochas [1]

Para facilitar a tarefa de escolher o tipo de pedra a usar num revestimento numa fachada, o Manual da Pedra Natural para a Arquitectura [5] disponibiliza uma proposta de classificação prática dos resultados dos ensaios para a pedra utilizada nas construções. Este quadro, que é apresentado de seguida (quadro 1.5), refere os vários tipos de testes que se fazem às pedras, bem como uma classificação dos valores obtidos no que diz respeito à qualidade da pedra. Deste modo, a consulta do quadro proporciona uma noção sobre se o valor que uma pedra apresenta para um determinado parâmetro é alto, baixo ou médio [5]. Os valores dos diversos ensaios são fornecidos pelos produtores das pedras ou podem ser

consultados no catálogo da ORNABASE - Base de Dados do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas [4].

Características Físico Mecânicas								
Sentido crescente de qualidade	Resistência à compressão (kg/cm ²)	Resistência à flexão (kg/cm ²)	Massa volúmica aparente (kg/m ³)	Absorção de água à pressão atmosférica (%)	Porosidade aberta (%)	Coefficiente de dilatação linear (x 10 ⁻⁶ por C ^o)	Resistência ao desgaste (Amsler) (mm)	Resistência ao choque por impacto (joule)
	Baixa <400 500	Baixa <60 80	Baixa <2300 2300	Alta >6,0 3,0	Mt. Alta >10,0 Alta 10,0	Mt. Alto >12 12	Mt. Baixa > 10 7,5<baixa<10	Mt. Baixa < 3 baixa 3
	700 Média 1000	120 Média 160	2560 Média 2600	1,2 Média 0,5	6,0 Média 3,0	Média 9	4,0 Média 2,2	Média 4,5
	1500 Alta 2000	180 Alta 220	2700 Alta 2800	0,3 Baixa 0,1	1,0 Baixa 0,5	6	1,2 Alta	6 Forte 10
	Mt alta >2000	Mt alta >220	Mt alta >2800	Mt baixa <0,1	Mt baixa <0,5	Baixo <6	Mt alta <0,7	Mt Forte >10

Quadro 1.5: Classificação prática dos resultados dos ensaios para a pedra utilizada nas construções [5]

No entanto, nem todos os resultados dos ensaios têm a mesma importância face à aplicação que queremos dar à pedra. Tomando o exemplo do parâmetro de absorção de água, este terá uma maior importância na escolha de um revestimento que esteja em contacto com o solo do que num revestimento comum exterior. Por esse motivo, o Manual da Pedra Natural para a Arquitectura apresenta também uma classificação da importância dos vários parâmetros testados segundo as normas do CEN consoante a localização das placas de pedra na fachada, apresentada no quadro 1.6 [5].

	Revestimentos exteriores	Elementos não verticais ou salientes da fachada	Elementos em contacto com o solo
Massa volúmica aparente	A	C	-
Absorção de água Porosidade aberta	B	B	A
Absorção de água por capilaridade	C	C	A
Resistência à compressão	C	C	C
Resistência à flexão	A	C	-
Resistência ao gelo	A*	A*	A*
Coefficiente de dilatação linear	A*	B*	C*
Resistência ao choque	C**	C**	C**
Resistência ao choque térmico	A*	B*	B*
Resistência das ancoragens	A	A***	-

Ordem decrescente de importância: A,B,C

* apenas nas situações em que se aplicam

** de importância A quando se trata de elementos colocados em zonas baixas ou zonas de passagem

*** de importância A quando se trata de elementos fixos com recurso a fixação indirecta

Quadro 1.6: Importância de vários parâmetros consoante a localização das placas de pedra na fachada [5]

1.6 Tipos de fixação de pedra nas fachadas

O revestimento de fachadas em pedra pode ser realizado recorrendo a métodos de fixação directos ou indirectos.

Os primeiros caracterizam-se pela existência de um material de assentamento contínuo entre as placas de pedra e o suporte (produtos adesivos de várias naturezas, cimentos colas, resinas). Existem algumas limitações no que diz respeito às dimensões máximas das placas de pedra e à altura a que estas podem ser instaladas numa fachada. Este tipo de revestimento caracteriza-se também pela ausência de caixa de ar entre as placas de pedras e a fachada do edifício, impossibilitando assim a aplicação de um isolamento térmico contínuo pelo exterior. Este método de fixação é particularmente adaptado para o revestimento de pequenas áreas (como muretes ou canteiros) ou para a aplicação em zonas baixas devida à sua maior resistência a choques do que os métodos de fixação indirectos.

Os segundos, ou seja os métodos de fixação indirectos, são métodos onde as placas de pedra são ligadas ao edifício através de fixações pontuais metálicas criando assim uma caixa de ar. Incluem-se aqui o método dos agrafos e pontos de argamassa, dos gatos metálicos e da estrutura intermédia de suporte. O método dos agrafos e pontos de argamassa consiste na fixação das pedras usando agrafos metálicos de fio com secção circular. Os pontos de argamassa envolvem os fios, impedindo que estes se dobrem com o peso das pedras, e servem de zonas de encosto para as placas pétreas. No método dos gatos metálicos são usados elementos de suporte metálicos para fazer a ligação das pedras ao edifício. Estes podem ser fixos à fachada recorrendo à chumbagem dos suportes (com cimentos ou buchas químicas por exemplo) ou recorrendo a métodos de fixação mecânicos (com parafusos). Por fim, no último método abordado, é usada uma estrutura intermédia de suporte composta por perfis verticais e/ou horizontais que faz a ligação entre o suporte e o revestimento. A fixação das placas de pedra à estrutura pode ser feita através de gatos metálicos ou de clips de retenção das pedras. Todos estes métodos serão mais pormenorizadamente descritos nos capítulos seguintes.

2 Tipologias de Fachadas

Existem vários tipos de soluções para proceder ao revestimento de fachadas em pedra, que podem ser classificadas consoante o tipo de ligação ao suporte. As pedras que compõem o revestimento das fachadas podem ser fixas ao suporte utilizando métodos de fixação directa, que asseguram um contacto superficial contínuo ao longo de toda a superfície de suporte, ou por métodos de fixação indirecta, ligados ao suporte através de fixações pontuais.

2.1 Fixação directa ao suporte

Actualmente, em Portugal, a técnica de fixação directa de revestimentos pétreos ainda é muito utilizada para aplicar revestimento de pedra natural em fachadas. Esta técnica caracteriza-se pela existência de um material de assentamento entre a superfície da pedra e o suporte onde a pedra vai ser colada. Existe uma grande variedade de materiais de assentamento tais como diferentes tipos de produtos adesivos, cimentos-cola, resinas epoxídicas, etc. Caso não se conheçam as propriedades dos materiais usados, quando a mão-de-obra é não especializada ou quando não forem seguidos os procedimentos correctos para a aplicação deste tipo de revestimento, este método pode originar diversas patologias; é pois importante conhecer os métodos correctos de aplicação e as restrições deste método [9].

Em Portugal ainda não existem normas ou recomendações para a fixação de pedras em paredes exteriores. Alguns produtores de materiais para aplicação de pedra e instaladores regem-se pelas recomendações descritas em “CAHIERS DU CSTB” (*Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*), regulamento francês para a aplicação de elementos pétreos em fachadas [10].

Este tipo de método de fixação de pedra não deverá ser usado para a colagem de pedras de grandes dimensões ou com grandes espessuras. Como ordem de grandeza, as normas francesas (CSTB) impõem uma área máxima da placa de 1100 cm², que pode corresponder a placas quadradas de 30 cm x 30 cm, com uma massa máxima de 40kg/m² para placas de pedra com uma porosidade inferior a 5%. Quando se trabalha com elementos pétreos com porosidade superior a 5% admite-se como área máxima 2000 cm², que pode corresponder a placas quadradas de 40 cm x 40 cm [11].

A norma francesa também prevê algumas limitações no que diz respeito às alturas máximas de colocação de pedras usando este tipo de método de fixação. Segundo a norma, as placas de pedra com uma área inferior a 1100 cm², independentemente da sua porosidade, podem ser colocadas em fachadas com altura máxima de 28 metros. As pedras com áreas superiores (até 2000 cm² de área com uma porosidade superior a 5%) apenas podem ser instaladas até uma altura máxima de 6 metros [11].

No entanto, alguns outros autores desaconselham por completo a fixação directa em fachadas acima dos 6 metros independentemente da porosidade e do tamanho das pedras [2].

Os regulamentos elaborados pelo CSTB fazem ainda a especificação do tipo de cimento cola que se deve utilizar em função da altura do edifício onde se vai aplicar o revestimento. Para zonas de altura inferior a

6 metros revestidas com placas de área inferior a 1100 cm² é necessário usar um cimento cola classificado como C2. Para fachadas de maior altura ou pedras de dimensões superiores este regulamento requer o uso de cimentos cola classificados como C2S [11].

A Norma Europeia 12004 (EN12004) classifica um cimento cola como C2 se a sua aderência inicial por tracção perpendicular, após 28 dias, for superior a 1 MPa. Para que um cimento cola seja classificado como C2S este deve ter, para além das aderências iniciais anteriormente referidas, uma deformabilidade transversal superior a 3 mm (exemplo cimento da marca Weber com a referencia “Col Record”) [10]. Foram recentemente publicadas normas internacionais ISO 13007-1 e ISO 13007-3 que acolhem os requisitos desta norma europeia 12004 [12].

Para se fazer a colagem ou o assentamento dos elementos pétreos ao suporte existem tradicionalmente duas técnicas descritas por [13]. Uma delas é a colagem por pontos, técnica mais antiga e que caiu em desuso, tendo tendência para desaparecer. Esta técnica consiste em colocar pedaços de cola ou argamassa nos quatro cantos da peça a colar e um ponto no meio da peça. Deste modo ao fazer a colagem da peça na fachada facilita-se o nivelamento da peça e o alinhamento em relação às demais.

As pedras também podem ser coladas através da técnica de colagem contínua, de elevada espessura, de espessura média ou de fina espessura [14]. A técnica de colagem em camada fina apresenta como vantagens uma boa ligação ao suporte e à pedra natural mas necessita que se usem pedras de pequeno formato, calibradas, e que o suporte esteja nivelado. Neste método é usual a utilização de colas flexíveis que tenham presa rápida com uma espessura máxima da ordem dos 8 mm [14].

A técnica de colagem em camada média permite também uma boa ligação ao suporte e às pedras, que podem ser de espessuras e tamanhos variáveis uma vez que a camada de cola permite rectificar as pequenas irregularidades. Tem como desvantagem um consumo de cola ou argamassa mais elevado. Na realidade é usual usar-se o mesmo tipo de cola usado na técnica de colagem fina, mas com uma espessura que pode variar entre os 5 os 20 mm [14].

A técnica de colagem em camada grossa é uma técnica que pode ser usada para colagens de pedras naturais de formatos maiores e não calibradas e para suportes não nivelados. Esta técnica consiste na aplicação de uma camada relativamente fina de cola ou argamassa no tardo da placa de pedra que é assente numa camada grossa, que pode ter espessura a variar entre os 4 cm a 6 cm, que é colocada na fachada. No entanto, esta técnica apresenta vários inconvenientes e desvantagens entre os quais a descoloração que pode causar nas pedras, a sua fraca aderência tanto à pedra como ao suporte podendo ainda causar problemas de logística na obra devido ao seu tempo de presa ser muito elevado [14].

Antes de se terem generalizado no mercado as colas à base de cimento, próprias para a colagem de elementos de pedra, estes eram assentes com argamassas, preparada no local da obra. Habitualmente estas argamassas eram constituídas por areia, cimento e cal. Actualmente existem no mercado argamassas preparadas especialmente para a colagem de elementos pétreos que possibilitam maior segurança, rapidez e qualidade na colocação de pedras. A maioria dos cimentos cola que se usam para aplicar placas de pedra natural nas fachadas são produtos monocomponente, com resina pré-doseada e

incorporada na mistura de pó, ou produtos bicomponente, com resina pré-doseada e não incorporada na mistura de pó [10]. Estas argamassas devem ser usadas utilizando a técnica de colagem em camada fina, sendo esta a técnica que será descrita no capítulo de métodos construtivos [15].

Como já foi referido ao optar-se pela fixação directa das pedras ao suporte é exigido que a totalidade da placa de pedra fique em contacto contínuo com a superfície do suporte. Neste método, a escolha do material de assentamento vai distinguir dois tipos de fixação: a colagem e a selagem [16].

Na fixação das pedras **por colagem** usam-se colas tais como cimento cola, resinas epóxicas ou argamassas que podem ter resinas incorporadas [9].

Na fixação **por selagem** das pedras é necessário recorrer à utilização de uma argamassa à base de cal hidráulica ou de cimento branco. Este tipo de colagem de peças é menos susceptível de originar manchas na pedra do que os cimentos tradicionais [9].

Este método de fixação directa das pedras ao suporte está a cair em desuso no nosso país devido ao elevado número de patologias que a ela estão associadas, sobretudo em fachadas exteriores. Essas patologias podem aparecer frequentemente, mesmo em edifícios recentes, com idades de construção inferior a 5 anos e resultam na maioria dos casos do desconhecimento das propriedades dos ligantes ou das pedras e da falta de qualificação dos aplicadores [9].

Na fixação directa de placas de pedra é aconselhável utilizar-se um material de assentamento deformável. No entanto, para suportar o peso das pedras é necessário usar um material de assentamento com grande resistência, que acaba por ter menor elasticidade. As pedras colocadas em fachadas exteriores estão particularmente expostas a acções tais como variações importantes de temperatura, que provocam estados de tensão nos materiais de assentamento. Essa tensão, provocada pela diferente dilatação das pedras e da fachada, fragiliza os materiais de assentamento e pode criar fendas que, com a acção da água, leva ao descolamento das pedras. A deformação dos suportes também pode submeter as pedras a tensões elevadas que, por sua vez, poderão originar o seu descolamento.

Estes fenómenos são amplificados com o aumento das dimensões dos elementos pétreos. Na realidade, quanto maiores forem as pedras usadas, menos juntas de colocação serão necessárias. As juntas de colocação entre os elementos de pedra são preenchidas com materiais que podem absorver as dilatações, contracções e deformações dos elementos pétreos. Com a diminuição da área ocupada pelas juntas aumentamos a concentração de tensões nas pedras e nos materiais de assentamento.

Os descolamentos dos elementos pétreos são especialmente perigosos em zonas onde haja circulação de pessoas. Por essa razão, na maior parte dos países europeus, a aplicação de pedras em fachadas exteriores de edifícios usando apenas métodos de fixação directa é proibida. Em Portugal, este método de aplicação é permitido mas não é recomendado pelo LNEC devido à degradação ao longo do tempo dos materiais usados para o assentamento directo.

Deste modo, trata-se de um método mais usado, actualmente, em pequenas áreas de fachadas como pequenos muros ou zonas de singularidades e cada vez mais raramente em fachadas inteiras devido aos problemas conhecidos. É também uma solução que pode, e deve, ser usada em zonas baixas onde se preveja que haja circulação de pessoas ou máquinas pois, nestas zonas, não se devem usar métodos de fixação indirecta que são mais frágeis aos choques. É um método que continua no entanto a ser usado em interiores com resultados muito satisfatórios [2].

Uma forma encontrada para reduzir o risco de descolamento das placas na fixação directa de pedras a paredes exteriores é realizar um sistema de reforço através de agrafos [9]. Este sistema associa os suportes mecânicos descritos nos capítulos seguintes com a colagem característica dos métodos de fixação directa.

2.2 Fixação indirecta ao suporte

Os métodos de fixação indirecta de pedras caracterizam-se pela presença de elementos pontuais de fixação que ligam as pedras ao suporte. Estes elementos são usualmente em metal e permitem absorver as deformações que as placas pétreas possam sofrer, reduzindo deste modo as tensões no revestimento, mais frágil que o suporte no que diz respeito a deformações. Este tipo de fixação tem de suportar tanto as forças verticais (o peso próprio do material pétreo e eventuais isolamentos) bem como as acções horizontais (tais como o vento).

Estes métodos de fixação de pedras criam uma caixa-de-ar entre as placas pétreas de revestimento e a fachada do edifício. O afastamento entre a parede do edifício e o revestimento cria uma câmara de ar em movimento que produz uma ventilação natural e contínuo da parede do edifício chamada de “efeito chaminé” [17]. Este caracteriza-se pela entrada de ar frio pela parte inferior e saída do ar quente pela parte superior. Com o arejamento da parede evitam-se a concentração de humidades e condensações o que traz benefícios de conforto térmico ao edifício. Para aumentar a eficiência térmica da fachada é aconselhável aplicar sempre um material isolante na caixa de ar, para que o ar circule entre este e os elementos pétreos de revestimento [18]. As fachadas ventiladas constituem hoje em dia uma das mais eficientes soluções na resolução de problemas térmicos nos edifícios garantindo ainda uma elevada qualidade estética, grande funcionalidade e protecção dos agentes externos [17]. Uma fachada ventilada revestida é também um excelente método para ocultar as fissuras e outros defeitos que inevitavelmente vão aparecendo ao longo do tempo nas fachadas dos edifícios.

Este tipo de revestimento não é condicionante a nível arquitectónico devido à grande variedade de sistemas de fixação disponíveis que se adaptam à maioria das situações. Estes sistemas de suporte podem ser classificados em três grupos: agrafos e pontos de argamassa, gatos metálicos ou estrutura intermédia de suporte. Dentro de cada um destes grupos existe uma grande variedade de modelos de fixações, de várias marcas, à venda no mercado [17].

Existem vários factores a ter em conta para escolher qual o melhor sistema de fixação para cada caso, tais como a natureza do suporte, o tamanho, características e peso das placas pétreas, a presença ou

não de isolamentos térmicos ou acústicos entre as pedras e o suporte, a área de fachada a revestir com pedras, o preço da mão-de-obra, etc. Este factores são abordados de seguida.

Existem algumas regras comuns aos três tipos de modos de fixação, nomeadamente no que diz respeito às características das pedras a usar. A espessura mínima dos elementos pétreos é sempre condicionada pelo tamanho da placa, pelo peso e natureza da rocha empregue, pelo tipo de fixação adoptada e pelas solicitações a que a pedra será submetida. Não deve ser, no entanto, nunca inferior a 27 mm para placas de pedra obtidas por clivagem e a 20 mm para placas de pedra talhadas. Neste último caso é necessário ainda que as pedras sejam aplicadas em zonas de parede com cota não superior a 6 metros em relação ao nível do piso de espaços de circulação ou de permanência de utentes, e que estes tenham mais de 0.60 metros de largura. Estas são as espessuras mínimas exigíveis para a generalidade dos casos; existem contudo métodos e tipos de suportes que exigem espessuras das placas pétreas mais elevadas. É, no entanto, muito recomendado usar pedras com uma espessura mínima de 30 mm para garantir a segurança [16]. A dimensão máxima das pedras também é uma característica que está regulamentada na norma francesa segundo a qual a maior dimensão da pedra não pode ultrapassar 1,4 metros e cada pedra não pode ter uma superfície superior a 1 m².

Também existem algumas recomendações relativas aos materiais dos sistemas de fixação a usar. Muitos autores referem que os materiais metálicos dos sistemas de fixação a usar podem ser o latão, o cobre ou o aço inoxidável. No entanto regulamentos mais exigentes, como a norma NF P65.202 francesa sobre fixação para revestimentos em pedras finas, exigem que os suportes sejam, independentemente do seu tipo e para qualquer método de fixação das pedras, fabricados em aço inoxidável.

É também necessário indicar sempre qual o tipo de aço a usar: o A2 ou o A4, consoante indicação presente no projecto caso exista ou consoante as condições do local onde a fachada será instalada [19]. Na realidade existem três tipos de aço inoxidável usado para fixadores, cada qual com diferentes resistências à corrosão e portanto com um campo de aplicação específico.

O aço de tipo A1 tem altas percentagens de fósforo e enxofre mas é raramente usado para a produção em massa de fixadores devido à sua fraca resistência à corrosão [20].

O tipo de aço A2, que também pode ser apelidado de aço 18/8 (devido à sua composição de 18% cromo e 8% de níquel), é o material mais comum usado em fixadores, possuindo uma boa resistência à corrosão em condições atmosféricas normais e em ambientes húmidos [20].

Existe ainda o aço do tipo A4 que é o aço inoxidável de maior resistência à corrosão, devido ao aumento do teor de níquel e à adição de molibdénio. Tem excelente resistência à corrosão em ambientes agressivos tais como ambientes marinhos (cloretos), industriais (dióxido de enxofre), ácidos oxidantes e locais onde a corrosão superficial pode ocorrer [20].

2.2.1 Agrafos e pontos de argamassa

O método de fixação de placas de pedras com agrafos e pontos de argamassa consiste na fixação dos elementos pétreos ao suporte usando agrafos de fio de secção circular. Os pontos de argamassa são necessários para o correcto funcionamento dos agrafos e constituem zonas de encosto para os elementos pétreos, como é ilustrado na figura 2.1. Os fios são envolvidos em argamassa, formando os pontos. É muito importante que os agrafos não reajam com as argamassas nem com o ambiente atmosférico da zona onde estão aplicados [21]. Por essa razão os fios podem ser de aço inoxidável (solução actualmente mais usada e aconselhada pela sua durabilidade superior), cobre ou latão.

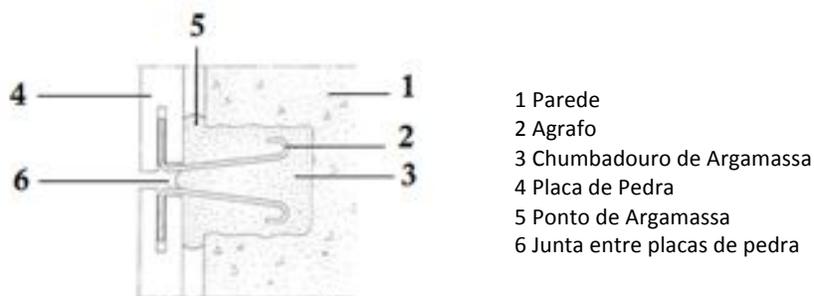


Fig 2.1 - Esquema em corte da aplicação de um agrafos num ponto de argamassa [22]

Este método de fixação de pedras apenas pode ser utilizado caso se verifiquem as três seguintes condições: a zona onde as pedras são instaladas não pode ter uma altura superior a 28 metros, a distância entre o suporte e o tardo das pedras de revestimento tem de estar compreendida entre os 20 mm e os 50 mm e as placas de pedra instaladas no revestimento não podem ter uma área superior a 1m² sendo a sua maior dimensão nunca superior a 1,40 metros [16].

A ligação dos agrafos ao suporte é feita por chumbagem de argamassa; é, pois, importante verificar que o agrafos tem comprimento suficiente para ficar preso no suporte e não apenas no ponto de argamassa.

O dimensionamento dos agrafos através de cálculo é impossível de realizar devido à grande dificuldade que existe na determinação do comportamento dos pontos de argamassa. Com o objectivo de garantir a durabilidade dos fios, existem algumas regras sobre os diâmetros mínimos destes que devem ser cumpridas. Esses diâmetros variam em função da espessura das placas de pedra a usar, aumentando com o aumento da espessura e, conseqüentemente, com o aumento do peso das pedras. Para placas de espessura de 20 mm usam-se no mínimo fios de 0.4 mm de diâmetro, para placas com espessura entre 30mm e 40mm é aconselhável usar um fio com um diâmetro mínimo de 0.5 mm enquanto que para placas com espessura superior a 60mm a espessura mínima recomendada para os fios é de 0.6mm [16].

Este método de suporte de placas de pedra é de relativa fácil execução para aplicadores experientes mas tem uma desvantagem importante: devido à existência dos pontos de argamassa que se encontram

entre as pedras e o suporte, não é possível a colocação de um isolamento térmico contínuo na caixa-de-ar formada entre a parede e o revestimento. Caso as exigências térmicas da construção não dispensem a existência deste isolamento térmico, este método terá de ser excluído.

Em situações correntes são usados quatro agrafos por placa: dois agrafos de suspensão e dois de posicionamento. Para fixar os agrafos às placas pétreas são feitos orifícios circulares nos bordos das pedras; é nesses furos que se fixam os agrafos. Os agrafos de suspensão têm como função suportar o peso da placa e são colocados usualmente na face inferior da placa. Os agrafos de posicionamento podem ser localizados na face superior ou nas laterais da placa. Os agrafos de suspensão não podem ser instalados nos topos horizontais superiores das placas, devido ao risco de fendilhação e quebra da placa de pedra. Em qualquer um dos casos, é recomendado [16] que a distância entre os bordos da placa e os agrafos seja, aproximadamente, entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{5}$ do comprimento total do lado considerado da placa, como ilustra a figura 2.2 [21].

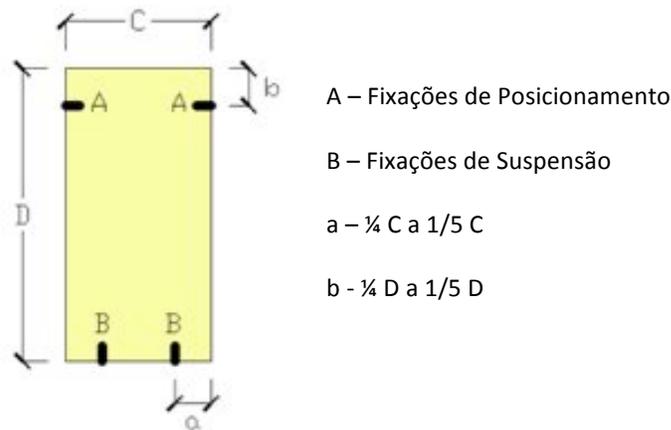


Fig 2.2 - Distâncias mínimas recomendadas entre os agrafos e os bordos das placas de pedra

Há, no entanto, algumas situações onde a agrafagem pelos topos não é possível; nas placas de pedra de clivagem evidente seria perigoso fazer a agrafagem muito perto das bordas das pedras. Nesse caso, deve optar-se por fazer a inserção dos agrafos pelo tardo das placas.

Para o correcto funcionamento deste método de fixação de placas de pedra há ainda outra preocupação que deve ser tida em conta. Como anteriormente referido, a localização dos agrafos na pedra é de extrema importância. No entanto, o local da fachada onde se fixam os agrafos também não pode ser descuidado. A localização destes deve ser estudada de forma a garantir que uma pedra não fique fixa a dois suportes diferentes ou a duas zonas que possam ter deformações diferentes. Tal situação criaria uma grande tensão adicional nos suportes e na própria placa pétreas, havendo o risco de quebra da placa ou de colapso dos suportes. Este problema revela-se mais intensamente em zonas próximas de juntas de dilatação ou zonas de transição entre dois materiais que podem ter comportamentos diferentes (diferentes coeficientes de dilatação por exemplo) [3].

2.2.2 Gatos metálicos

O método de fixação de placas pétreas através de gatos metálicos consiste na fixação dos elementos pétreos através de placas ou perfis metálicos que podem ter diversas formas, dimensões e características. Os gatos são usualmente do mesmo material dos agrafos, ou seja aço inoxidável, cobre ou latão. Estes suportes são fixos à fachada recorrendo a métodos de fixação mecânicos (figura 2.3), como parafusos, ou por métodos de fixação recorrendo à chumbagem dos suportes à fachada (figura 2.4). Os gatos metálicos têm pinos que são introduzidos em furos realizados nos topos das pedras, para impedir que estas se desloquem.

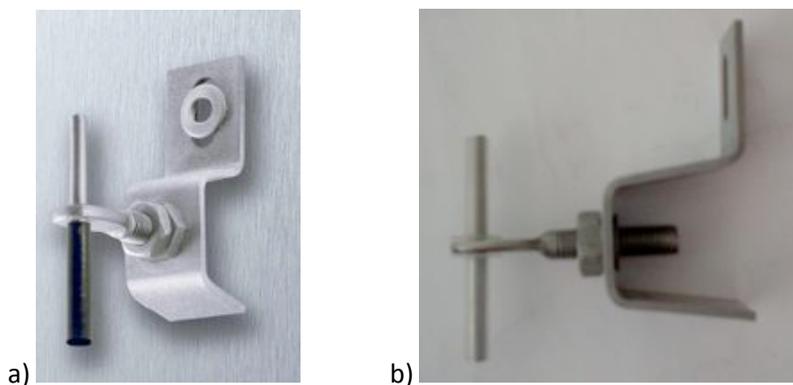


Fig 2.3 - Exemplos de gatos metálicos de fixação mecânica para suporte de placas de pedra: a) [19]



Fig 2.4 - Exemplo de gato metálico de chumbar para suporte de placas de pedra [19]

Nesta técnica de revestimento de fachadas existem dois métodos de fixação dos gatos ao suporte: por chumbagem (com argamassa ou com buchas químicas) no suporte ou por fixação mecânica. Quando se opta pela fixação por chumbagem, é necessário fazer um furo no suporte, que é depois cheio com argamassa ou outro ligante. Posteriormente coloca-se o gato metálico na argamassa e deixa-se secar. Quando se opta pela fixação mecânica, podem ser usadas cavilhas metálicas de expansão fixas ao suporte. Deve, no entanto, haver a preocupação de garantir que o material dos gatos seja o mesmo do das cavilhas, ou materiais compatíveis entre si, para evitar a corrosão bimetálica. Deve-se portanto evitar o contacto dos gatos em aço inox com outros elementos metálicos como o aço macio, o ferro fundido, o alumínio, o zinco, o cobre e o bronze [23].

Alguns mecanismos de gatos metálicos disponíveis no mercado têm um dispositivo que permite regular a distância da pedra ao suporte. Deste modo torna-se mais fácil garantir o correcto aprumo das placas ao longo da fachada, não sendo necessário haver essa preocupação aquando da montagem dos gatos. Quando se opta pela fixação mecânica, a maioria dos gatos podem ser ajustados nos 3 eixos (dependendo dos modelos e marcas de gatos) o que permite um melhor e mais preciso ajuste do gato à placa de pedra.

A escolha entre estes dois métodos de fixação (gatos chumbados ou fixos mecanicamente) depende essencialmente da natureza do suporte sobre o qual se aplica o revestimento.

Em situações correntes cada placa de pedra é fixa ao suporte com quatro gatos. Dois gatos são colocados na face horizontal inferior da placa de pedra e têm a dupla função de suportar o seu peso próprio e de restringirem os deslocamentos horizontais. Os outros dois são colocados na face horizontal superior da placa de pedra unicamente para restringirem os deslocamentos horizontais [23]. A fixação dos gatos às pedras também se pode efectuar pelas faces laterais verticais destas.

Em qualquer um dos casos, é recomendado [16] que a distância entre os bordos da placa e os agrafos seja de aproximadamente entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{5}$ do comprimento total do lado considerado da placa, como se ilustra na figura 2.5. Não é recomendável efectuar mais de dois furos por bordo na placa de pedra para evitar estados de tensão que seriam criados pela eventual falta de alinhamento das furações ou dos suportes [9].

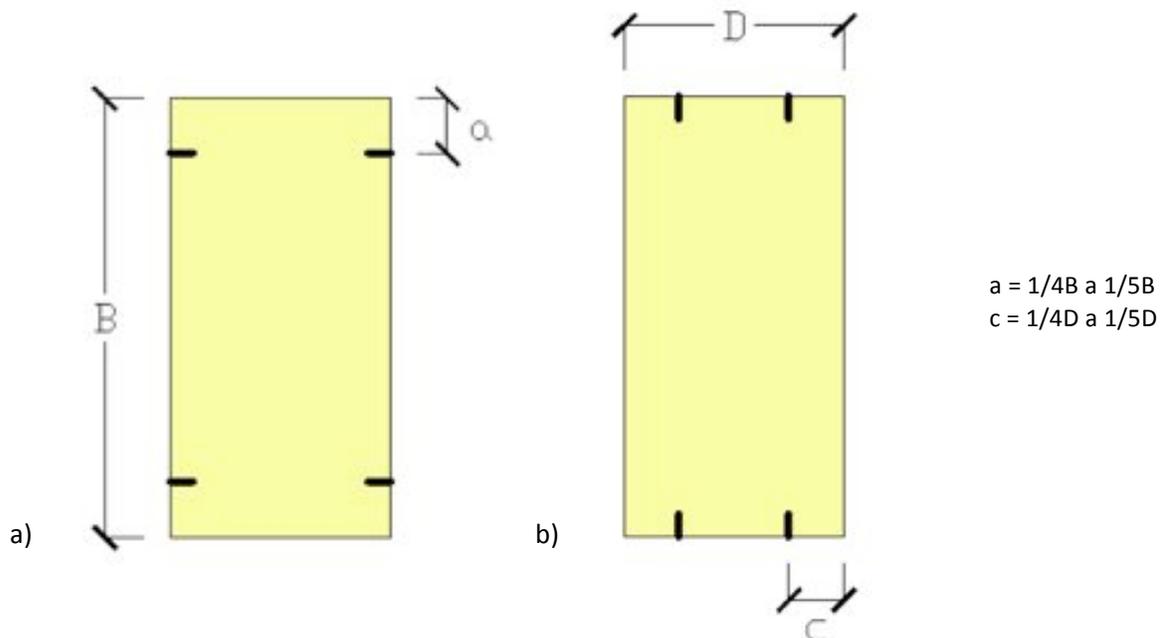


Fig 2.5 - Distâncias mínimas recomendadas entre os gatos os bordos das placas de pedra: a) fixação pelos bordos verticais b) fixação pelos bordos horizontais

Os gatos utilizados em superfície corrente dispõem, numa das extremidades do seu corpo principal, de um orifício através do qual passa um pino cilíndrico que se destina a entrar em furos efectuados nos bordos das pedras. Cada gato trabalha simultaneamente na placa de pedra superior, onde restringe os deslocamentos horizontais e suporta as cargas verticais e na placa de pedra inferior, onde restringe os deslocamentos horizontais [23].

Nos furos superiores da pedra é recomendado o uso de camisas plásticas, que são introduzidas nos orifícios das pedras antes da introdução dos pinos cilíndricos metálicos (figura 2.6). O uso destas camisas permite liberdade de movimento na direcção paralela à do pino, reduzindo os esforços nos suportes e na placa de pedra em caso de deformações do suporte ou das próprias placas pétreas [19].

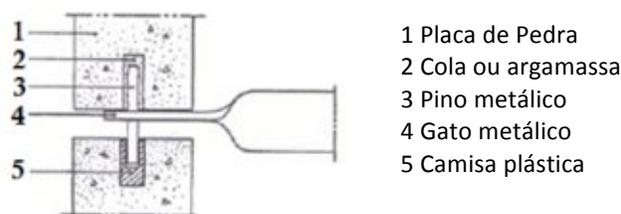


Fig 2.6 - Esquema em corte da aplicação de um gato metálico para suporte de placas de pedra [16]

Fora das zonas correntes da construção ou em pontos singulares, como os limites inferiores e superiores das paredes, as zonas de arranque e as zonas finais de assentamento das placas de pedra, utilizam-se gatos onde o pino tem metade do tamanho, pois apenas vai trabalhar na pedra superior ou inferior. Nesta situação é necessário usar pinos especiais para esta função que se fixam ao corpo do gato (figura 2.7). Deste modo, é possível efectuar a restrição dos deslocamentos horizontais da placa de pedra, nas zonas de limite superior das paredes, e suportar as cargas verticais e restringir os deslocamentos horizontais em zonas de limite inferior das paredes [23].

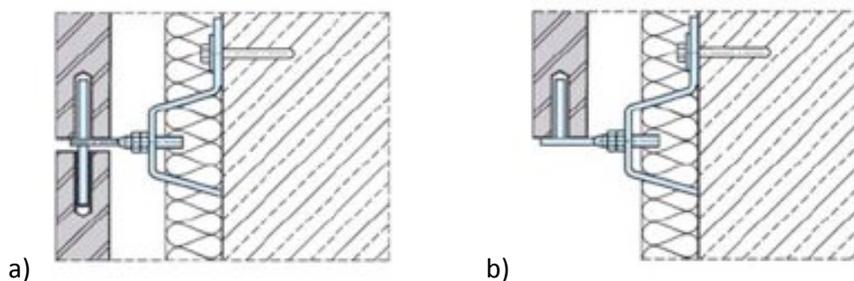


Fig 2.7 - Esquema em corte de gatos metálicos: a) aplicado em zona corrente b) aplicado numa zona de arranque [19]

Em zonas onde ocorre o início ou o final do revestimento de uma fachada em pedra, em vez de se efectuar a fixação nos topos horizontais das pedras, deve-se realizar a fixação nos topos laterais verticais dos elementos pétreos. Deste modo, os gatos não ficam visíveis pela parte inferior da fachada na primeira fiada de pedras. Nas fiadas seguintes de pedras já é possível usar o sistema de fixação pelos topos horizontais das pedras. No entanto, é importante verificar que as pedras apenas fiquem presas pelos topos horizontais ou pelos verticais; nunca pode haver pedras que possuem em simultâneo fixações horizontais e verticais pois isso limitaria o seu movimento e produziria uma zona de tensões importante. É, pois, importante ter em atenção que se devem usar gatos com meios pinos nas zonas de transição de fixação pelos topos verticais para os horizontais, como se ilustra na figura 2.8.

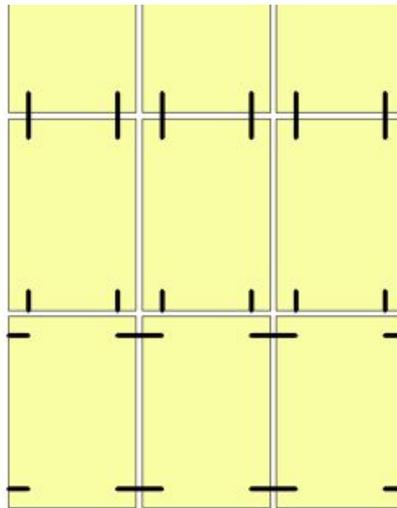


Fig 2.8 - Esquema ilustrativo da transição da fixação pelos topos verticais para os topos horizontais empregando gatos com meios pinos

Na maioria dos sistemas de fixação, os gatos ficam encobertos pelas placas pétreas; há no entanto algumas marcas que comercializam modelos nos quais o gato metálico não fica totalmente dissimulado pela placa de pedra, atravessando a junta entre pedras e fixando-se no paramento exterior do elemento pétreo. Uma variação deste tipo de gatos também pode ser usado para fixar pedras de clivagem evidente (como as ardósias, por exemplo), onde não é seguro realizar furos nos topos das pedras. Este sistema usa um sistema de metal que comprime a pedra de encontro a um paramento exterior presente no gato, como se pode ver na figura 2.9, abaixo apresentada.



Fig 2.9 - Exemplo de gato metálico usado para suporte de placas de pedra com clivagem

Tal como no sistema de fixação de agramos e pontos de argamassa, para o correcto funcionamento deste método, a escolha da localização dos gatos na fachada também não pode ser descurado. A localização destes deve ser estudada de forma a garantir que uma pedra não fique fixa a dois suportes diferentes ou a duas zonas que possam ter deformações diferentes. Tal situação iria criar tensão adicional nos suportes e na própria placa pétreia, havendo o risco de quebra da placa ou de ruptura dos suportes. Este problema revela-se com mais intensidade em zonas próximas de juntas de dilatação ou zonas de transição entre dois materiais de suporte que tenham comportamentos diferentes [3].

Esta técnica de revestimento de paredes permite o uso de isolamento térmico na caixa-de-ar. Este é usualmente colocado em placas de poliestireno extrudido, e traz grandes benefícios no isolamento da construção. As placas são fixas à fachada antes da aplicação dos gatos metálicos, sendo depois feitos recortes nas zonas onde os gatos são aplicados.

Quando se usa este tipo de revestimento com recurso a gatos metálicos é possível preencher as juntas entre placas ou deixar as juntas abertas. Quando as juntas são deixadas abertas este sistema possibilita a absorção, ao nível de cada placa, das deformações diferenciais entre o revestimento e o suporte. Além disso, como as placas contíguas não estão solidarizadas de modo rígido, são possíveis movimentos relativos das placas e dos gatos. Caso as juntas sejam preenchidas e essa liberdade de deformação, de alguma forma, restringida será necessário impor algumas condições para evitar que se formem esforços demasiado elevados na fachada. Neste caso, este tipo de sistema não poderá ser usado em fachadas com altura superior a 28m e as placas não poderão ter área superior a 1m² sendo a maior dimensão não superior a 1,40m [16].

É necessário tomar algumas precauções especiais quando se emprega este sistema de fixação com as juntas deixadas abertas em fachadas compostas por suporte de alvenaria de tijolo furado sem qualquer tratamento de estanquidade. Na realidade, testes em laboratório demonstram que, mesmo com uma caixa de ar de 25 cm, numa fachada muito exposta à acção da chuva e do vento, a água pode penetrar até ao suporte. A caixa de ar não pode ser considerada uma solução que garanta a estanquidade da parede. Por este motivo, quando se usa este tipo de revestimento em fachadas muito expostas, a própria fachada terá de garantir uma correcta impermeabilização. Para tal, o suporte pode ser pintado

com tintas asfálticas, ser coberto por uma camada de impermeabilização ou ser devidamente tratado por outro método que garanta que a água não penetre na alvenaria [2].

2.2.3 Estrutura intermédia de suporte

O método de fixação de placas pétreas numa fachada através do uso de uma estrutura intermédia de suporte consiste na utilização de uma estrutura para fazer a ligação entre o suporte e o revestimento. É um método geralmente mais caro do que os anteriormente descritos mas que permite instalar pedras mais pesadas e de maiores dimensões. A estrutura é actualmente, na maioria dos casos, feita de materiais metálicos como aço inoxidável ou ligas de alumínio com tratamentos anticorrosivos, e a fixação das pedras é feita de forma mecânica. A estrutura é fixa à fachada a zonas resistentes através de gatos chumbados com argamassas, cimentos de secagem rápida, colas ou mais correntemente através de métodos mecânicos.

Esta estrutura é composta por uma grelha de perfis verticais e/ou horizontais com espaçamentos ajustáveis para poder acomodar pedras do tamanho desejado. A fixação das placas de pedra à estrutura é feita através de elementos metálicos como calhas, gatos ou agrafos dependendo da marca e modelo do sistema de fixação escolhido (figuras 2.10 a 2.12). O processo construtivo deste método de fixação vai ser detalhado mais em pormenor quando se abordarem os métodos construtivos, no Capítulo 3.

Quando se usam os sistemas de fixação das pedras à estrutura metálica usando gatos ou agrafos, as espessuras mínimas das placas de pedra são as mesmas que já foram referidas acima: mínimo de 27 mm para placas de pedra com clivagem e 20 mm para as restantes. É, no entanto, muito recomendado usar pedras com um mínimo de 30 mm de espessura para garantir a segurança. Quando as pedras são fixas com recurso a calhas cavadas nas placas, a espessura mínima exigível é de 30 mm.

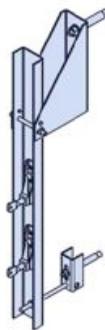


Fig 2.10 - Exemplo de estrutura de suporte intermédia composta por perfis verticais com gatos metálicos para suporte das pedras [19]



Fig 2.11 - Pormenor de elemento vertical da estrutura intermédia de suporte com o gato para fixar as placas de pedra



Fig 2.12 - Exemplo de estrutura de suporte intermédia composta por grelha de perfis verticais e horizontais com suporte das pedras através de calhas [24]

Este sistema permite executar o revestimento em pedra independentemente do estado e natureza do suporte; na realidade apenas interessa garantir a qualidade das zonas onde a estrutura de suporte está ancorada ao edifício, zonas essas que são pontuais e que podem ser reforçadas em caso de necessidade. Não é pois necessário garantir a absoluta verticalidade ou planeza do pano exterior do suporte onde se vai instalar a estrutura. Consoante o número de pontos de apoio da estrutura ao suporte os esforços podem ser distribuídos ao longo da fachada, caso se opte por usar muitos pontos de apoio, ou então concentrados ao longo de pilares ou vigas, caso se usem poucos pontos de apoio. Este sistema permite a colocação de um isolamento térmico no espaço de caixa-de-ar formado entre a fachada e as placas de pedra, como placas de poliestireno extrudido.

O sistema de suporte de pedras com recurso a estrutura intermédia apresenta ainda algumas outras vantagens face aos outros sistemas de fixação indirecta. Por um lado, a maior parte dos sistemas disponíveis permite a colocação das pedras por uma ordem não sequencial, ou seja não é preciso começar a colocar as pedras por baixo e ir fazendo fiadas de pedras como é usual fazer-se nos gatos metálicos ou nos agrafos. Esta vantagem é especialmente importante quando se pretende colocar na fachada pedras de tipos ou cores diferentes, ou quando nem todas as pedras estão disponíveis ao mesmo tempo. Permite também instalar primeiramente todo o sistema de fixação, com os perfis, e depois de este estar concluído começar a colocar as pedras. Deste modo é possível compensar atrasos no fornecimento das pedras em obra ou mesmo trabalhar em estaleiros de pequenas dimensões onde seja difícil armazenar grandes quantidades de pedras. Este tipo de sistemas também permite uma fácil substituição das pedras, especialmente útil caso alguma pedra se danifique ou se parta, sem ser necessário retirar pedras adjacentes, sendo possível retirar apenas a pedra danificada para a sua substituição.

Existe actualmente uma grande quantidade de modelos de sistemas de fixação de pedras usando o método da estrutura intermédia de suporte comercializados por várias marcas. Alguns destes modelos dispensam por completo a própria fachada do edifício. Na realidade algumas marcas (como a ECLAD, por exemplo) comercializam sistemas que se fixam apenas nas lajes dos pisos, não necessitando de outro tipo de fixação (figura 2.13). Toda a estrutura é fixa a perfis verticais que são, por sua vez, fixos às lajes através de meios mecânicos. Permitindo funcionar com pés direitos máximos superiores a 6 metros, podem ser usados em edifícios com pés direitos particularmente elevados ou, numa construção mais tradicional, permitem que o sistema de fixação seja apenas fixo às lajes de dois em dois pisos. Este sistema inovador dispensa a construção de paredes exteriores pois, combinado com um isolamento em placas, substitui uma fachada mais tradicional de alvenaria, proporcionando elevados ganhos de tempos de construção. Estes perfis são mais robustos do que os tradicionais que são fixos na fachada, possuem corte térmico e encaixes específicos para painéis de isolamento [24]. Este sistema é também particularmente adaptado a obras de requalificação de edifícios antigos, devido à possibilidade de fixação da estrutura apenas às lajes do edifício [18].



Fig 2.13 - Exemplo de estrutura de suporte intermédia fixa às lajes dos pisos composta por grelha de perfis verticais e horizontais com suporte das pedras através de calhas que dispensa as fachadas em alvenaria [24]

2.2.4 Compatibilidades entre fixações e tipos de suporte

Como vimos anteriormente, dependendo do tipo e tamanho de pedras a instalar e da altura do edifício, existem algumas restrições que influenciam a escolha do método de fixação. A natureza do suporte onde vai ser instalado o revestimento também representa uma das condicionantes à escolha do processo de fixação. Os tipos de suportes onde é mais frequente a instalação de um revestimento pétreo são o betão corrente, o betão de agregados leves, os tijolos, os blocos de betão de agregados correntes, os blocos de betão celular autoclavado e a pedra natural. No quadro que se apresenta de seguida (quadro 2.1) mostra-se a compatibilidade entre suportes e processos de revestimento de pedras. Os dados desde quadro foram compilados com base em informação constante no “DTU 55.2” (regulamentos técnicos franceses sobre fixação de revestimentos de paredes) [25] e na “Descrição e Classificação Geral de Revestimentos para Paredes de Alvenaria ou de Betão” [26]. No entanto, há que referir que foram detectadas algumas divergências sobre certos tipos de fixações, que estão devidamente identificadas no quadro.

Suporte	Método de fixação				
	Agrafos e pontos de argamassa		Gatos metálicos		Estrutura intermédia
	Chumbados	Fixados mecanicamente	Chumbados	Fixados mecanicamente	
Betão armado ou não armado	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Betão de agregados leves	Sim	(1)	Sim	(1) e (2)	Sim
Tijolos	(3)	(5)	(3)	(5)	Sim
Blocos de betão de agregados correntes	(3)	(5)	(3)	(5)	Sim
Blocos de betão celular autoclavado	Não	Não	(5)	(5)	Sim
Pedra natural	Sim	(5)	Sim	(5)	Sim

- (1) Processo de fixação admissível desde que a resistência característica do betão aos 28 dias seja superior a 15 MPa [25]
- (2) Este tipo de fixação no suporte considerado implica a realização de uma descrição detalhada no caderno de encargos e de um projecto de especialidade. Aquando a sua aplicação em suporte cujas características não sejam perfeitamente conhecidas implica a realização de ensaios de arrancamento na obra [25].
- (3) Processo de fixação admissível desde que cumpra os requisitos apresentados em “2.2.5 Campo de aplicação de sistemas de fixação com recurso a chumbadouros”
- (4) Processo de fixação admissível apenas se as juntas entre placas forem deixadas abertas ou preenchidas com um material resiliente
- (5) No “DTU 55.2” (regulamentos técnicos franceses sobre fixação de revestimentos de paredes) este tipo de fixação é aceite desde que se realize uma descrição detalhada no caderno de encargos e desde que exista um projecto de especialidade [25]
- No entanto na “Descrição e classificação geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão” é referido que este tipo de fixação não é possível [26]

Quadro 2.1: Compatibilidades entre diferentes tipos de fixações e tipos de suporte [25] e [26]

2.2.5 Campo de aplicação de sistemas de fixação com recurso a chumbadouros

Os sistemas de fixação utilizando chumbadouros podem ser fixos às fachadas sempre que exista um suporte suficientemente resistente e estável. Consideram-se portanto adequados suportes como paredes ou outros elementos de betão armado.

No que diz respeito às paredes exteriores, é possível usar chumbadouros em paredes simples de alvenaria de tijolo ou blocos de betão com, pelo menos, 0,22 m de espessura no tosco, desde que não tenham função estrutural e sejam travadas por elementos estruturais com afastamento não superior a 4 m em altura e a 5 m no comprimento.

Caso as paredes exteriores sejam duplas devem ser de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão sem função estrutural, em que o pano que suporta o revestimento tenha, pelo menos, 0,15 m de espessura no tosco, e se encontre ligado ao pano interior e devidamente travado por elementos estruturais nas condições definidas para as paredes exteriores simples.

Considerando paredes interiores, se estas forem paredes simples de alvenaria de tijolo ou blocos de betão com, pelo menos, 0,11 m de espessura no tosco, é possível realizar chumbadouros desde que não tenham função estrutural e sejam travadas por elementos estruturais com afastamento não superior a 3 m em altura e a 5 m no comprimento. Se tiverem pelo menos 0,15 m de espessura no tosco é possível realizar chumbadouros desde que as paredes não tenham função estrutural e sejam travadas por elementos estruturais com afastamento não superior a 4 m em altura e a 5 m em comprimento.

Caso as paredes sejam estruturais de alvenaria de tijolo ou de blocos de betão convém que, na realização do projecto, seja tida em conta a diminuição da capacidade de carga da parede decorrente da execução dos furos dos chumbadouros [23].

3 Métodos construtivos

Aquando da elaboração de projectos para edifícios revestidos com elementos pétreos deverá ser prescrito o tipo de método de fixação das pedras a usar bem como a natureza dos elementos pétreos. Deste modo é possível, desde a fase de projecto, escolher o tipo exacto de pedra a utilizar e o seu acabamento, o tipo de suportes de fixação, o tipo de isolamento, a quantidade e dimensão de juntas entre pedras e todos os outros critérios que possam afectar a fachada. É também importante, nesta fase de projecto, prever os sistemas de drenagens de águas pluviais tanto da cobertura, para evitar que a água esorra pela fachada, como da base das paredes, para evitar humidades ascendentes. Os mapas com a localização das tubagens embebidas nas paredes exteriores devem também ser cruzados com as plantas da localização das zonas onde serão executados os furos dos chumbadouros e dos sistemas de fixação mecânica, caso a solução escolhida seja de fixação indirecta ao suporte. Apenas desta forma é possível garantir que a solução escolhida cumpre os critérios de segurança e durabilidade mínimos exigidos para a obra em causa. A solução escolhida em projecto deve ser pormenorizada quanto à execução, devendo ainda constar no Caderno de Encargos da Obra todos os dados necessários para assegurar a posterior correcta interpretação por todos os intervenientes na colocação das pedras [2].

3.1 Fixação directa ao suporte

Seguidamente, descrevem-se os passos e cuidados a ter para a correcta aplicação de um revestimento recorrendo ao método da fixação directa com colagem fina das placas de pedra ao suporte.

a) Preparação do suporte

Para colar um elemento pétreo numa fachada, por colagem directa contínua, deve-se começar por verificar o estado do suporte onde se pretende aplicar a pedra. Este deve estar limpo de poeiras ou de outros elementos que se possam descolar, para que a argamassa de assentamento ou a cola adiram em perfeitas condições. Este método de revestimento deve ser evitado em suportes muito susceptíveis à fendilhação, com instabilidade dimensional importante, com um potencial de deformação excessivo ou com falta de coesão [27].

Há alguns outros aspectos importantes a verificar quanto ao suporte. Em primeiro lugar, este deve-se encontrar bem seco para evitar retracções depois da aplicação do revestimento. Empresas especializadas aconselham um período de espera para a secagem do cimento de paredes de betão antes da aplicação do revestimento de pedra de cerca de 2 meses para alturas inferiores a 2,5 metros e de cerca de 3 meses para alturas superiores. Para paredes de alvenaria rebocadas, o tempo de espera para secagem é de 3 semanas [28]. Caso estes prazos não sejam respeitados e o cimento ainda não se encontre totalmente seco, a água deste vai-se infiltrar nas pedras da fachada, o que originará manchas nas pedras e deteriorará a cola, podendo ainda levar a descolamentos prematuros.

Além do tempo de espera entre a finalização do suporte e o início da aplicação do revestimento que assegura que este está perfeitamente seco, existem mais algumas características do suporte que têm influência na qualidade da colagem. A planeza deste tem grande importância na uniformidade de espessura da camada de cola que será aplicada; por esse motivo, alguns autores referem exigências mínimas de planeza dos suportes que garantam a qualidade na aplicação de revestimentos em placas. Para alvenaria rebocada ou betão é exigido uma planeza geral com desvios máximos de 5 mm avaliados com uma régua de 2 metros e uma planeza localizada com desvios máximos de 2 mm avaliados com uma régua de 0,20 metros [3].

Também a rugosidade do suporte é muito importante pois aumenta a aderência mecânica das colas. Um suporte muito liso, que não tenha rugosidade, além de reduzir a aderência mecânica das colas, não possui porosidade superficial suficiente para a correcta aderência das colas. No entanto, uma rugosidade excessiva também não é aconselhável, pois pode levar à exclusão da possibilidade de se usarem materiais de assentamento em camada fina [29].

As condições atmosféricas não podem também ser ignoradas quando se realizam trabalhos no exterior. Este tipo de pedras não deve ser aplicado quando a temperatura for demasiado elevada (superior a 30°C), com níveis de humidades muito altos, com ventos muito fortes ou sobre a incidência directa de raios solares ou de água. Também não se deve fazer a aplicação de revestimentos com temperaturas demasiado baixas (inferior a 5°C) ou quando existe gelo no suporte. Pretende-se, com estas restrições, por um lado não provocar a secagem demasiado rápida ou lenta da cola e, por outro, não aplicar as pedras sobre um suporte que esteja sob contracções ou dilatações extremas que causariam tensões elevadas quando voltassem ao seu estado de equilíbrio [27].

b) Preparação das placas de pedra natural

As recomendações dadas para o suporte também são válidas para os elementos pétreos que devem estar limpos de poeiras ou de outros elementos que se possam destacar. Convém referir que, ao optar-se por um revestimento pétreo com uma permeabilidade muito baixa na parte tardoza da placa, o comportamento será pior do que numa placa com o tardoza mais poroso. Na realidade, maior porosidade favorece a penetração da cola pelo tardoza das placas ladrilhos, o que pode melhorar a sua aderência ao suporte [27].

Quando se opta pelo uso de argamassas para a colagem das placas de pedras convém humedecer o suporte e as placas antes da aplicação da argamassa. Deste modo, estes materiais não vão absorver a água de amassadura, o que poderia influenciar de forma negativa a capacidade resistente das argamassas. O CSTB recomenda que, em tempos quentes e secos, se molhem os suportes onde se vão aplicar os revestimentos na véspera da aplicação. Quando se opta pelo uso de colas que requeiram um suporte seco, as indicações fornecidas pelo fabricante devem ser sempre seguidas [11].

c) Preparação do material de assentamento

Depois de verificar que o suporte e as placas se encontram nas condições ideais de aderência há que preparar o material de assentamento.

É muito importante assegurar que o material de assentamento (cola ou argamassa) é o indicado; tem de aderir bem ao suporte e à pedra, aguentar o peso da pedra e resistir às condições climatéricas do local [15]. As argamassas devem ser resistentes aos sulfatos e à saponificação sendo por isso aconselhado, sempre que possível, o uso de cimento branco que é menos susceptível de produzir manchas [2]. No caso de se optar por cimento cola ou argamassas pré doseadas devem ser seguidas as instruções fornecidas pelo fabricante. Usualmente deve-se misturar o pó e a resina com um misturador eléctrico, a velocidade lenta (máximo 500 rotações/ minuto), até obter uma pasta homogénea, tendo em atenção os tempos de amassadura recomendados pelo fabricante. Não se deve adicionar nenhum outro componente a não ser que esteja expressamente indicado [15].

Quando as pedras são aplicadas usando o método de camada fina ou de camada média deve-se utilizar a quantidade mínima de água possível recomendada no produto de colagem para evitar tempos de presa demasiado longos e evitar manchas nas pedras originadas pelos ligantes. Quando se usam pedras naturais mais sensíveis ou muito claras é recomendada a colagem com adesivos brancos de secagem e presa rápidas (fast-drying e fast-setting). Na realidade, com o uso deste tipo de produtos de colagem existe menos hipóteses de haver transporte de substâncias das colas para as pedras, evitando assim as manchas nos elementos pétreos [14].

Pelo mesmo motivo, quando se opta pela aplicação das pedras usando método de camada espessa, a areia usada para a argamassa deve ser lavada para que sejam removidas as maiores quantidades possíveis de substâncias contaminantes orgânicas, betuminosas e minerais [14].

d) Aplicação do material de assentamento no suporte

Para a colagem de pedras em fachadas deve-se sempre usar a técnica de colagem dupla, ou seja colocar cola no tardez do elemento pétreo e no suporte. A cola deve ser espalhada no suporte e no elemento pétreo com uma talocha ou espátula de bordo liso. Depois, usando uma talocha ou espátula de bordo denteado a argamassa deve ser “penteada” para retirar o excesso. Os cordões de cola, formados pela espátula dentada, devem ser dispostos paralelamente entre si, de modo a que nunca se cruzem (figura 3.1). O método corrente de aplicação da cola através de movimentos circulares da talocha não é recomendado, porque não garante uma distribuição tão homogénea da cola.



Fig 3.1 – Aplicação do material de assentamento no suporte [15]

A espessura da camada de ligante a usar é recomendada pelo fabricante da argamassa; deve pois optar-se por uma talocha dentada com os dentes dum tamanho compatível com a espessura que se quer obter. Aconselha-se a inclinar ligeiramente a talocha dentada aquando da aplicação da cola na fachada com um ângulo de inclinação de aproximadamente 60º para que a espessura da película de cola se mantenha constante [15].

Embora, tal como referido a espessura de cola a usar seja normalmente indicada pelo fabricante, pode referir-se que, usualmente, é recomendado usar uma espessura de 6 mm para placas muito pequenas (com uma superfície inferior a 300 cm² ou seja placas quadradas com tamanho máximo de 15 cm x 15 cm). Este tipo de tamanho de pedras apenas se costuma aplicar em zonas pontuais e não em grandes fachadas. Para tamanhos de pedra maiores, é aconselhável o uso de talochas com dentes quadrados de 9 mm para garantir uma espessura de cola desse tamanho [11].

Nunca convêm aplicar a cola em extensões demasiado grandes, para que não se ultrapasse o tempo recomendado de trabalhabilidade da cola [27].

e) Aplicação das placas de pedra natural

As peças de pedra devem ser então aplicadas na fachada utilizando o método de pressão e movimento lateral. Este método consiste na aplicação do ladrilho sobre os cordões de cola, não na sua posição definitiva, mas cerca de 5mm para um dos lados. Depois o que se pretende é deslocar o ladrilho ao mesmo tempo que se pressiona este contra a cola até à sua posição definitiva. Com este movimento, que deve ser feito perpendicularmente aos cordões de cola, pretende-se garantir o correcto esmagamento e abatimento dos cordões para obter uma espessura de cola constante e uma maior superfície de contacto da cola com o ladrilho e o suporte. Este movimento permite ainda que se rompa a película de cola mais seca que se possa ter entretanto formado à superfície da cola (figura 3.2). Por vezes a maneira mais intuitiva para ver a que distância da posição original a placa de pedra deve ser pousada é considerar, como referência, a largura dum cordão de cola, o que não diferirá muito dos 5 mm recomendados. Depois de a placa de pedra estar colocada já na sua posição definitiva, deve

manter-se a pressão até que esta se agente na sua posição, e se for necessário, bater suavemente com um maço de borracha (figura 3.3) [27].



Fig 3.2 - Aplicação de uma placa de pedra sobre o material de assentamento [15]



Fig 3.3 - Placa de pedra aplicada e pressionada para garantir o esmagamento dos cordões de cola [15]

A área de contacto entre as placas de pedra, a cola e o suporte deve ser frequentemente controlada durante o processo de aplicação. Um método rápido e fiável para o fazer é retirar uma placa de pedra que se acabou de assentar e verificar o seu tardo. O ideal seria que todos os cordões de cola se encontrem esmagados, podendo no entanto ser admitido como resultado satisfatório uma área mínima de cerca de 85% da superfície total da placa [27].

A aplicação das pedras deve ser feita de baixo para cima e de um lado para o outro da parede tendo o cuidado de deixar sempre juntas entre as pedras [13].

Depois de aplicadas as pedras, as juntas devem ser limpas do excesso de cola ou de argamassa, com uma escova húmida, antes do seu preenchimento [27].

f) Juntas entre as pedras

As juntas entre as pedras são muito importantes para limitar as tensões que tendem a instalar-se no revestimento devido a deformações impostas, pois apresentam uma menor rigidez do que as placas de pedra. No entanto devem ser sempre preenchidas com materiais elásticos e não devem ser deixadas abertas, para evitar infiltrações de água.

As juntas em revestimentos pétreos podem ser de dois tipos: juntas de colocação e juntas de deformação ou dilatação. As primeiras são as que formam as zonas de união entre as placas de pedra. As segundas, as juntas de deformação ou de dilatação, são as que se deixam em zonas de interrupção dos revestimentos, com o objectivo de permitir pequenas variações nas dimensões estruturais que possam ocorrer nas fachadas revestidas [13]. A sua largura deve ser suficiente para garantir essa deformabilidade e para permitir que seja possível o seu total preenchimento.

O CSTB recomenda uma espessura mínima de juntas de 4 mm. No caso do não preenchimento das juntas, ou do seu preenchimento com falhas, haverá uma grande redução da estanquidade da fachada [27].

g) Escolha dos materiais de preenchimento de juntas entre pedras

É necessário esperar cerca de 48 horas para garantir a secagem do material do assentamento em revestimentos exteriores antes de preencher as juntas entre as pedras. Estas podem ser preenchidas com pasta de cimento [27] ou podem ser usados produtos disponíveis no comércio, prefabricados, que são concebidos especialmente para este fim e que garantem normalmente melhores resultados devido à sua maior elasticidade. De facto, as juntas rígidas entre pedras (como as que resultam da aplicação de pasta de cimento) são mais propensas à fendilhação e podem, deste modo, comprometer a estanquidade do revestimento originando indesejáveis infiltrações [2].

Os tempos de abertura dos produtos devem sempre ser respeitados, o que implica adaptar o ritmo de trabalho e trabalhar em áreas de pequena dimensão de cada vez. Os produtos de preenchimento das juntas devem ser aplicados com utensílios adequados tais como espátulas ou talochas de borracha. Deste modo é mais fácil preencher a totalidade de junta tanto em profundidade como em largura [27].

Quando se usam juntas com cores, que devem ser uniformes ao longo de toda a área de aplicação, é necessário tomar algumas precauções suplementares: usar as colas ou os corantes sempre do mesmo lote e ter especial cuidado em manter as dosagens constantes ao longo da aplicação para não haver diferentes tonalidades de cor.

Além das juntas entre pedras nas superfícies correntes, existem algumas singularidades nas fachadas que requerem que se considere a existência de mais juntas preenchidas com um material elástico, como por exemplo as juntas de dilatação dos edifícios. Estas devem ser replicadas no revestimento em pedra, ou seja, nenhuma pedra poderá ser instalada sobre a junta de dilatação. O material que colmata essa

junta no revestimento de pedra deverá poder absorver os movimentos previstos para a junta de dilatação do edifício [27].

Quando existe uma mudança do tipo de revestimento também convém fazer uma junta para garantir que comportamentos diferentes dos materiais não provoquem acréscimos de tensão. Do mesmo modo, em zonas de cantos, reentrâncias ou ângulos salientes será conveniente prever juntas entre os materiais [27].

Em zonas de grandes áreas cobertas por revestimentos pétreos, onde não se tenha considerado a existência de juntas de dilatação ou de juntas entre materiais, convém realizar juntas horizontais de fraccionamento, espaçadas de 6 em 6 metros, e juntas verticais de fraccionamento de 10 em 10 metros para formar superfícies mais pequenas de revestimento, com áreas de aproximadamente 60 m² [11].

Sempre que nas situações acima mencionadas se considerar necessária a existência de juntas, estas devem estar presentes tanto na pedra como no material de colagem. De facto, caso haja continuidade no material de colagem sobre uma junta de dilatação por exemplo, este vai fendilhar e pode deformar-se pondo em risco as pedras adjacentes. Do mesmo modo, estas juntas também servem para limitar os efeitos de retracção do material de assentamento, principalmente quando usamos argamassas [30].

Antes de aplicar mástiques ou outros produtos nas juntas convém fazer um teste numa pedra, de iguais características às que foram empregues na fachada, para verificar se o material mancha a pedra. Este mesmo teste também pode ser realizado com as colas ou argamassas usadas na fixação das pedras ao suporte. Este tipo de teste é particularmente importante caso se estejam a usar colas ou materiais de assentamento que não anunciem explicitamente serem compatíveis com o tipo de pedra usado.

O objectivo deste teste é ver se os componentes dos produtos usados podem, por capilaridade no interior das placas de pedra, reagir com as matérias orgânicas destas, formando manchas que poderiam ser visíveis à superfície. Para acelerar este processo de migração, submetem-se os provetes de ensaio a uma subida de humidade por capilaridade seguida de um período de calor.

O provete de ensaio é composto por uma pedra igual às que serão usadas na fachada, à qual se aplica, no seu tardo, a argamassa ou cola de fixação (para testar os produtos de fixação) ou as argamassas ou mástiques de juntas (para testar os produtos de preenchimento de juntas). Na pedra de ensaio os produtos de fixação são espalhados no seu tardo com uma espessura de 8 a 10 mm. Os produtos de preenchimento ou de fixação são colocados apenas na meia superfície inferior da placa testada, e são depois recobertos por uma película impermeável. As pedras de ensaio são, então, colocadas verticalmente dentro de um recipiente com alguns centímetros de altura de água. O conjunto recipiente e pedras é seguidamente colocado numa estufa ventilada, aquecida a cerca de 60°C durante, no mínimo, 15 dias. É necessário colocar, em simultâneo, no forno durante o mesmo tempo uma pedra igual mas sem produtos de teste dentro de um recipiente com água similar ao acima descrito para servir de experiência testemunho. Se após 15 dias não se detectarem nenhuma manchas nas faces das pedras, em comparação com a pedra da experiência testemunho, então pode afirmar-se que o produto testado não reage com as pedras usadas e que, portanto, é seguro para aplicação na obra [11].

Depois das juntas terem sido preenchidas deve-se proceder à limpeza do excesso de material de preenchimento que possa ter ficado nas placas pétreas, enquanto este ainda se encontra fresco.

h) Cuidados especiais a ter na aplicação das pedras em zonas que formam ângulos

No que diz respeito aos cantos ou ângulos das paredes existem, geralmente, duas formas de os realizar. Pode-se optar por biselar as pontas das pedras de revestimento, cortando-as em ângulo para que encaixem uma na outra e assim formar um canto. Neste método há que ter em atenção em não encostar por completo os ângulos das duas pedras para deixar uma junta. Este método só pode ser utilizado em pedras suficientemente trabalháveis que permitam cortes precisos. No caso de alguns granitos cujos constituintes são de maior granulometria, os cortes não ficam perfeitos [28].

Outra solução aplicável aos casos em que as pedras não permitam cortes em bisel, consiste em justapor duas pedras para formar o canto. Neste caso, o canto é formado pela pedra e pela sua lateral, que fica visível. Neste método, é necessário polir e tratar as laterais das pedras que ficarão nos cantos. Caso não se trate convenientemente as laterais das pedras, estas não terão a mesma textura e propriedades do resto da parede e terão uma porosidade diferente. Esta diferença nas características causará uma falta de uniformidade no comportamento da pedra aos elementos. Na realidade, na zona não polida a pedra absorve mais água o que causará manchas nas zonas adjacentes e danificará o material de assentamento. Este é um ponto de extrema importância pois as singularidades como os cantos dos edifícios são, já por si, zonas que requerem especial atenção na aplicação dos revestimentos [28].

i) Verificações finais

Aquando do preenchimento das juntas é possível fazer mais um teste para garantir a correcta aplicação dos elementos pétreos, batendo neles com um martelo de borracha para ouvir o som da pancada. Esta não deve soar a oco, o que indicaria espaços vazios sob a placa de pedra que não estão preenchidos com cola. Se tal acontecer a pedra deve ser retirada e colocada de novo com cola fresca [27].

3.2 Fixação indirecta ao suporte

Antes de começar a executar uma parede com revestimento de pedra utilizando um sistema de fixação indirecta é necessário verificar que todos os materiais estão de acordo com as especificações necessárias acima mencionadas, nomeadamente no que diz respeito à espessura das placas de pedra. Relembramos que esta espessura nunca deve ser inferior a 27 mm, para placas de pedra obtidas por clivagem, e a 20 mm, para placas de pedra talhadas, salvo indicação em contrário, sendo no entanto aconselhável usar espessuras mínimas de 30 mm para aumento de segurança.

3.2.1 Agrafos e pontos de argamassa

Para executar um revestimento pétreo usando o sistema de fixação com chumbadouros de agrafos e pontos de argamassa é necessário seguir uma série de passos que a seguir se descrevem. Primeiramente é necessário fazer a marcação na parede do edifício dos locais onde vão ser colocados os chumbadouros de argamassa. Depois procede-se à abertura dos furos na parede, limpeza e humedecimento destes. Os furos são então preenchidos com argamassa ao mesmo tempo que se fazem os pontos de argamassa. Em simultâneo convém ir preparando os furos nas placas de pedra, e a colocação dos agrafos nas pedras. É depois feito o encosto das placas de pedra (que já têm os agrafos) nos chumbadouros, tendo em atenção o correcto alinhamento destas. Por fim é necessário preencher as juntas entre pedras.

Cada um destes passos será agora considerado em mais pormenor, começando pela marcação na parede do edifício dos locais onde vão ser executados os chumbadouros.

a) Marcação da localização dos pontos de argamassa

A marcação da localização dos pontos de argamassa deve ter em conta o tamanho das placas de pedra que vão ser instaladas, o número de fixações que cada placa vai ter (usualmente quatro) e o tamanho das juntas entre placas que for adoptado. É ainda preciso definir o local da placa onde serão fixos os agrafos e prever se os agrafos são colocados nos topos das placas ou pelo tardo (no caso de placas de pedras de clivagem evidente). Sempre que possível convém evitar furar zonas de pilares, vigas ou zonas com grande densidade de armaduras para que a execução do orifício não implique uma diminuição da capacidade resistente do suporte.

As medidas relevantes para a marcação da localização dos pontos de argamassa são transferidas dos planos de fixação e projecto de revestimento para a parede, através de régua e de fios de prumo. Para fachadas grandes e tamanhos de pedra iguais, alguns aplicadores fazem um pequeno molde em madeira do tamanho de uma pedra. Nesse molde, a zona onde devem ser localizados os furos na parede são vazadas, servindo desta maneira o molde como um “stencil”.

É nesta altura que se deve ter especial atenção em não ligar uma placa a dois suportes diferentes. Na realidade, e como já foi referido anteriormente, cada placa de pedra apenas deve ficar ligada a um mesmo tipo de suporte. Deste modo, evita-se criar na placa esforços adicionais provocados por comportamentos diferentes de cada um dos suportes. As juntas de dois suportes diferentes ou as juntas de dilatação devem portanto ser replicadas nas pedras de forma a minimizar os efeitos das variações dimensionais diferenciais.

b) Juntas entre pedras

É muito importante deixar juntas entre as placas de pedra para que estas possam absorver as movimentações nomeadamente as dilatações e contracções provocadas pelas diferenças de

temperaturas ou por assentamentos e vibrações originárias do próprio edifício. A largura das juntas entre placas varia usualmente entre um mínimo de 4mm e um máximo de 1/3 da espessura da placa aplicada. O tamanho das juntas deve, no entanto, sempre ser ajustado ao tamanho e qualidade das pedras. Quando maiores forem as pedras, maiores terão de ser as juntas entre duas pedras [16].

Caso se decida preencher as juntas estas podem ser preenchidas com argamassas, mástiques ou silicões. As argamassas têm muito pouca elasticidade e tornam a ligação entre as pedras muito rígida. Quando as juntas são preenchidas com argamassas é, portanto, necessário garantir a existência de juntas flexíveis horizontais e verticais que absorvam os movimentos relativos das pedras e do suporte delimitando painéis de áreas reduzidas [16].

Em relação às juntas flexíveis, preenchidas com silicões ou mástiques, estas terão de ter um distanciamento de 3m para as juntas horizontais e 6m para as juntas verticais em zona corrente. Além disso, é necessário colocar juntas flexíveis em torno de lintéis, varandas, peitoris e juntas de dilatação do edifício. As juntas flexíveis terão de ter uma largura mínima de 10mm para as juntas horizontais e de 8mm para as juntas verticais à excepção das juntas sobre as juntas de dilatação do edifício que terão de ter no mínimo 20mm de largura [16].

Para garantir que os agramos não impedem o movimento das pedras nas zonas de juntas flexíveis, estes devem ser substituídos por patas nas juntas horizontais. As patas são agramos mais resistentes que permitem aguentar o peso das pedras de cima, garantindo assim a independência dos vários blocos de pedras entre juntas flexíveis. Quanto às juntas verticais, para manter a independência dos dois lados da junta, devemos envolver cada agramo das pedras vizinhas num ponto diferente de argamassa, um de cada lado da junta flexível.

c) Preparação dos furos dos chumbadouros

Depois de se terem marcado os locais onde vão ficar localizados os chumbadouros é necessário realizar os furos na pedra. Quando se trabalha em fachadas de betão é necessário haver o cuidado de evitar realizar chumbadouros em zonas onde os furos possam causar interferências com as armaduras principais. A localização das armaduras já deve ter sido tida em conta aquando da realização das plantas do projecto de revestimento mas este é um assunto ao qual se deve dar também atenção durante a realização dos furos dos chumbadouros [2].

Os furos dos chumbadouros devem ter pelo menos 60mm de profundidade para garantir a penetração do agramo em pelo menos 50mm. Os agramos devem sempre ser chumbados no suporte e nunca apenas no ponto de argamassa que não oferece resistência suficiente. Quanto ao diâmetro, é recomendado um mínimo de 40 mm. Os furos devem ser perpendiculares à fachada, com excepção das zonas próximas de ângulos ou cunhais. Nesse caso deve-se, sempre que possível, fazer os furos paralelamente ao plano da bissetriz do ângulo formado pelas duas partes da fachada para que não se corra o risco de haver um descolamento de parte da parede.

Os furos devem depois ser limpos e humedecidos com água para garantir uma aderência e solidarização perfeita de argamassa ao suporte [5]. Os furos podem ser efectuados com uma forma cilíndrica ou em forma de cauda de andorinha (entalhe cónico que se expande para o interior do revestimento). Os furos cilíndricos são mais fáceis de realizar, sendo por isso mais usados. No entanto, os furos com forma de cauda de andorinha permitem um certo confinamento da argamassa dentro do suporte, o que pode proporcionar uma melhor resistência e superior fixação da argamassa ao suporte [16].

O tamanho dos furos para os chumbadouros não deve ser superior ao necessário pois estes podem constituir um caminho de entrada de água por capilaridade para o interior do edifício. Durante a realização dos furos é necessário proceder de forma cuidadosa para não provocar a fendilhação da parede [23].

d) Preenchimento dos chumbadouros

Tradicionalmente os chumbadouros são executados com argamassa com um traço volumétrico 1:2 a 1:3 quando consideramos a utilização de cimento Portland e areia. A argamassa também pode ser feita com cal, tendo nesse caso um traço de 1:1:4 a 1:1:6, respectivamente de cimento Portland, cal e areia. Em ambos os casos convém usar areia limpa, sem poeiras e com uma granulometria entre 0.008mm e os 3mm para garantir uma fixação adequada. Em alternativa pode-se optar pelo uso de argamassas pré doseadas existentes no comércio. A consistência da argamassa deve ser suficientemente seca para que se possa manter em posição até à aplicação das placas de pedra.

e) Execução dos Pontos de argamassa

Os pontos de argamassa, que são as zonas de encosto das placas, são executados ao mesmo tempo dos chumbadouros, com a mesma argamassa. Estes devem envolver os agrafos na sua totalidade, preencher totalmente os furos executados para a chumbagem dos agrafos e deve haver um transbordo de argamassa para formar os pontos.

Os pontos devem ter cerca de 100mm de diâmetro e uma espessura igual à distancia que ficará entre as placas de pedras e a fachada e que desempenhará o papel de caixa de ar. Devemos evitar colocar pontos de argamassa intermédios no meio das placas em zonas sem agrafos e executar pontos de argamassa contínuos que liguem vários agrafos para evitar que a água que eventualmente se infiltre para dentro da caixa de ar fique ali estagnada. São, no entanto, admitidos pontos de argamassa intermédios localizados no centro das placas em placas de grandes dimensões ou em zonas especialmente sujeitas a choques [5]. Durante a execução dos pontos de argamassa é necessário ter atenção para garantir que não há queda de desperdícios de argamassa para o interior da caixa de ar [2].

f) Fixação dos agrafos às placas de pedra

Em simultâneo à realização dos chumbadouros e dos pontos de argamassa, é necessário fixar os agrafos às pedras. Estes são inseridos em furos cilíndricos presentes nos topos das placas de pedra. São usados geralmente, como já foi referido atrás, quatro furos por placa. A execução destes furos é uma operação que requer muita precisão e é considerada uma operação bastante delicada de se fazer em obra. Há portanto quem recomende [16] que estes furos sejam feitos na fábrica onde as pedras são talhadas e que as pedras já venham preparadas para obra. Na fábrica de corte de pedras existem máquinas próprias onde as pedras são fixas e os furos são executados automaticamente com toda a precisão e segurança.

No entanto, e após obter a opinião de algumas empresas colocadoras deste tipo de revestimento, apercebemo-nos que, em obra, raramente é possível dispensar a realização de furos. Na realidade, aquando da montagem do revestimento da fachada, pode ser necessário fazer ajustamentos ao posicionamento das pedras ou realizar cortes nos elementos pétreos e conseqüentemente alterar a disposição dos furos nas pedras. Também não é raro ter de alterar a zona onde os furos para os agrafos são feitos no suporte, devido à existência de pilares, tubos ou outras zonas que não sejam passíveis de serem furadas. Por esse motivo os instaladores serão sempre obrigados a fazer alguns furos nas pedras em obra. Como esta tarefa é bastante delicada, deverá sempre ser convenientemente fiscalizada para verificar a profundidade e localização dos furos [2].

Os furos devem ser feitos de forma a que o seu eixo coincida com o eixo da espessura da placa para placas com menos de 30 mm de espessura. Quando se estão a usar placas com mais de 30 mm de espessura a furação deve ser executada a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior. Os furos têm de ter um diâmetro superior em cerca de 1mm ao do diâmetro necessário para o agrafos. A profundidade dos furos deve ser de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafos, com um mínimo de 30 mm de profundidade. Os agrafos penetram, portanto, pelo menos 25 mm nos furos efectuados nos topos das placas de pedra. A distância recomendável entre os agrafos e os topos das placas é de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{5}$ do comprimento total da placa [16].

Depois de se terem feito os furos (em obra ou na fábrica) com as dimensões exigidas, estes devem ser limpos da poeira e enchidos com calda de cimento, cola ou mástique para evitar que as placas abanem. Quando se utiliza calda de cimento para o preenchimento dos furos, os furos devem ser humedecidos para uma melhor aderência da calda. Depois de os furos estarem preenchidos insere-se o agrafos na pedra.

g) Aplicação das pedras

Antes de aplicar as pedras é necessário humedecer as zonas da pedra que ficarão em contacto com os pontos de argamassa para melhorar a aderência. Depois, basta encostar e comprimir as pedras de encontro à fachada, tendo o cuidado de alinhar os agrafos com as zonas onde está a argamassa para que estes penetrem nos chumbadouros e verificar que os pontos de argamassa ficam em contacto com

a pedra. Para garantir que se respeitam as medidas das juntas definidas em projecto, o alinhamento das placas e o seu aprumo podem ser usadas régua de madeira ou cunhas de madeira ou PVC que se colocam entre as pedras. Estas régua e cunhas são depois retiradas após a argamassa dos pontos e dos chumbadouros ter ganho presa e antes do enchimento das juntas, quando as pedras já estiverem suficientemente presas à fachada para que não corram o risco de descair, tapando a junta.

h) Preenchimento das juntas entre pedras

Depois de se terem aplicado as pedras na fachada e após secagem das argamassas pode-se proceder, caso esteja especificado no projecto, ao preenchimento das juntas entre pedras. Estas podem ser cheias com mástiques ou com argamassas flexíveis próprias para o efeito. Antes de aplicar mástiques nas juntas convém fazer um teste numa pedra de iguais características às que foram empregues na fachada para verificar se o mástique não mancha a pedra. Este teste é igual ao que foi descrito na parte dos revestimentos colados.

Quando se opta pelo preenchimento das juntas com argamassas indicadas para juntas pode-se incorporar pó de pedra da mesma natureza da pedra aplicada na fachada, desde que esse pó seja peneirado pelo peneiro de malha de 14mm [16].

Se as juntas tiverem sido preenchidas, depois da realização do trabalho deve proceder-se à limpeza do excesso de material de preenchimento que possa ter ficado nas placas pétreas, enquanto este ainda se encontra fresco.

3.2.2 Gatos metálicos

Para se realizar um revestimento pétreo com recurso ao sistema de fixação com chumbadouros de gatos metálicos é necessário seguir uma série de procedimentos, muito semelhante em certos pontos aos já referidos para a fixação usando o sistema de agrafos e pontos de argamassa, que serão enumerados e descritos de seguida.

De início é preciso marcar, na fachada, onde serão localizados os chumbadouros para os gatos metálicos. Depois, procede-se à abertura dos furos na fachada, à sua limpeza, humedecimento e posterior preenchimento com argamassa. Em simultâneo deve-se também furar os topos das pedras. Depois é necessário fixar na parede o gato inferior da pedra, com o pino de suporte. A pedra é então colocada, alinhando os furos de baixo da pedra com o pino inferior de suporte e o gato superior é colocado, introduzindo-se o pino superior para fixar a pedra. Por fim, é possível, caso desejado, preencher as juntas entre pedras com argamassa.

Cada um destes procedimentos é agora apresentado em mais pormenor, excepto para o caso dos processos de execução que são iguais aos já explicados no método de agrafos e pontos de argamassa, tais como os cuidados na realização dos chumbadouros ou dos furos nas pedras.

a) Marcação da localização dos gatos metálicos

É necessário começar por marcar na parede os locais onde irão ser executados os chumbadouros (figuras 3.4 e 3.5). Tal como no método anteriormente descrito, esta marcação tem de levar em consideração o número de gatos necessários por pedra e a sua disposição, o tamanho das pedras e das juntas entre elementos pétreos.



Fig 3.4 - Marca realizada na fachada para sinalizar a horizontal e a altura onde serão colocados os gatos metálicos



Fig 3.5 - Marcação do local de fixação dos gatos metálicos com um nível e uma fita métrica

Convém relembrar que cada pedra apenas poderá ser fixa num tipo suporte: as juntas entre dois suportes de materiais diferentes ou as juntas de dilatação dos edifícios devem ser replicadas nas pedras de forma a minimizar os esforços causados pelos diferentes comportamentos de cada um dos suportes.

b) Juntas entre pedras

As juntas entre placas, que absorvem as dilatações e contracções provocadas pelas diferenças de temperaturas, assentamentos ou vibrações originárias do próprio edifício, variam usualmente entre um

mínimo de 5 ou 6 mm e um máximo de 1/3 da espessura da placa aplicada. O tamanho das juntas deve sempre ser ajustado ao tamanho e qualidade das pedras, visto que quando maiores forem as pedras, maiores terão de ser as juntas entre duas pedras [16].

Em fachadas de grandes dimensões ou quando haja dúvidas sobre a elasticidade das juntas correntes entre placas de pedra pode ser necessário recorrer a juntas de esquadramento suplementares horizontais e verticais que delimitam painéis de áreas mais reduzidas, tais como as que foram descritas no método de agrafos e pontos de argamassa [16].

Tal como no método dos agrafos, podemos usar cunhas de madeira ou de PVC para garantir a correcta dimensão das juntas entre pedras e o aprumo das placas pétreas enquanto a argamassa não ganha presa necessária para suportar os gatos. Na imagem abaixo (figura 3.6), podemos ver uma cunha de 2mm (cunha verde) e uma cunha de 3 mm (cunha vermelha) que garantem um espaçamento de 5 mm nas juntas.



Fig 3.6 - Cunhas de PVC para garantir o espaçamento de 5 mm das juntas

c) Realização dos furos para os chumbadouros

Depois de se terem marcado os locais onde vão ficar localizados os chumbadouros para os gatos podemos proceder à realização dos furos (figura 3.7).

Os furos para os chumbadouros devem ter pelo menos 80mm de profundidade com um diâmetro de cerca de 40 mm para garantir uma correcta ancoragem e solidarização do gato ao suporte. Tal como no método dos agrafos, os furos são geralmente cilíndricos ou em forma de causa de andorinha, perpendiculares à face da parede. Nas zonas com ângulos ou em cunhais, devemos fazer os furos paralelamente ao eixo da bissetriz do ângulo formada pelas paredes, para evitar descolamento de partes da parede. Os furos devem depois ser cuidadosamente limpos da poeira ou aspirados antes de serem preenchidos.

Ao realizar os furos para os chumbadouros deve-se verificar que o seu tamanho não é superior ao necessário pois estes podem constituir um ponto de entrada de água por capilaridade para o interior do

edifício. Além disso, a argamassa dos chumbadouros pode constituir uma ponte térmica, diminuindo assim a eficácia do sistema de isolamento [23].



Fig 3.7 - Abertura dos furos para os chumbadouros

d) Isolamento térmico e caixa de ar

Sempre que possível, deve haver um espaço de caixa de ar de cerca de 5 a 7 cm para poder garantir o correcto fluxo de ar entre a parede do edifício e as placas pétreas. A distância mínima exigível entre o isolamento térmico e os elementos pétreos ou entre as pedras e a fachada do edifício, caso não se opte pela colocação de isolamento, é de 20 mm para garantir uma ventilação adequada do tardo das pedras [19]. Por vezes, em suportes de fachadas que não estão devidamente aprumadas, para garantir a verticalidade e aprumo da fachada formada pelas placas de pedra podem existir variações de tamanho da caixa de ar. Esta situação é inevitável mas deve ser tida em conta para evitar que haja zonas onde o espaço entre o suporte e o revestimento seja demasiado pequeno, impedindo a correcta circulação do fluxo de ar. Para verificar o aprumo das fachadas e dos revestimentos usam-se normalmente dois fios esticados de cima a baixo da fachada e de um lado ao outro. Este método, embora muito simples, permite obter erros bastante reduzidos e é usado pela maioria das empresas instaladoras.

Caso haja isolamento térmico colocado pelo exterior da parede (como placas de wallmate ou poliuretano projectado), é necessário cortá-lo e removê-lo nas zonas previstas para a realização dos furos dos chumbadouros. Estes cortes devem-se restringir à dimensão do gato a usar para minimizar as pontes térmicas. O isolamento térmico deve ser sempre colocado antes da realização dos trabalhos de furação dos chumbadouros. Depois de se ter colocado o suporte (fixação de chumbar ou mecânica) a zona onde o isolamento foi retirado deve ser novamente isolada, por exemplo com poliuretano expansível, como se ilustra na figura 3.8, abaixo apresentada [2].



Fig 3.8 - Zona onde o isolamento foi cortado na envolvente do gato metálico de fixação mecânica e preenchido com poliuretano expansível

e) Preenchimento dos chumbadouros

Tradicionalmente os chumbadouros são preenchidos com argamassa. Esta tem o mesmo traço da argamassa acima descrita usada para os chumbadouros dos agrafos, ou seja 1:2 a 1:3 (cimento Portland e areia) ou 1:1:4 a 1:1:6 (cimento Portland, cal e areia), com areia limpa de granulometria entre 0.008mm e os 3mm. Este é um método que pode ser usado tanto em paredes de betão, como de tijolo cerâmico e tijolo em blocos.

Em vez de argamassa pode também usar-se cimento de secagem rápida que traz um aumento de rendibilidade do trabalho pois não é necessário esperar tanto tempo pela secagem dos chumbadouros. Este cimento é usualmente usado em alvenarias para preencher a totalidade do bloco onde se vai prender o gato, criando deste modo um bom ponto de ancoragem. O cimento de secagem rápida vem usualmente em sacos, com a mistura já doseada e pronta a ser usada, sendo apenas necessário juntar água. Quando se usa cimento de secagem rápida convém preparar pequenas quantidades de cimento de cada vez, para um ou dois chumbadouros, para garantir que este não seca antes da sua aplicação (figura 3.9). Quando se preenchem os furos com argamassa ou cimento de secagem rápida é importante humedecer os furos antes da colocação do ligante, como se ilustra na figura 3.10.



Fig 3.9 - Preparação de pequena quantidade de cimento de secagem rápida para preenchimento dos chumbadouros



Fig 3.10 - Limpeza e molhagem do furo para o chumbadouro

O cimento ou a argamassa do chumbadouro, depois de colocado (figura 3.11), deve ser alisado com uma talocha para nivelar o material em excesso (figura 3.12).



Fig 3.11 - Chumbadouro preenchido com cimento de secagem rápida depois de aplicado



Fig 3.12 - Aspecto final do chumbadouro depois de alisado com uma talocha

f) Chumbadouros com camisa plástica e buchas químicas

Outro método usado para chumbar os gatos à parede é através de camisas plásticas e buchas químicas. Este método é normalmente usado em tijolos cerâmicos e consiste na introdução de uma camisa plástica semelhante á ilustrada na figura 3.13, com as laterais em rede, num furo realizado no suporte. Esta camisa plástica é depois cheia com cola, que transborda pelos orifícios da camisa formando um bolbo dentro do tijolo, fixando-a assim ao suporte. O gato pode depois ser introduzido na cola existente dentro da camisa.



Fig 3.13 - Camisa plástica usada para a realização de buchas químicas em paredes de alvenaria [31]

Para realizar um chumbadouro com camisa plástica é necessário seguir vários passos, tal como ilustrado na figura 3.14. Em primeiro lugar realiza-se um furo com o diâmetro e profundidade indicados pelo fabricante das camisas plásticas (1), que deve ser limpo de poeiras, onde se insere de seguida uma camisa plástica (2). Depois a camisa é preenchida (3) com a cola ou a resina escolhida através de um bico misturador (4) que se coloca na extremidade do recipiente da resina, com a ajuda de uma ferramenta para injectar o produto para dentro da camisa (5). O gato metálico pode então ser inserido dentro da camisa (6), sendo apenas preciso esperar o tempo necessário para que a resina ganhe resistência suficiente antes de colocar as pedras.

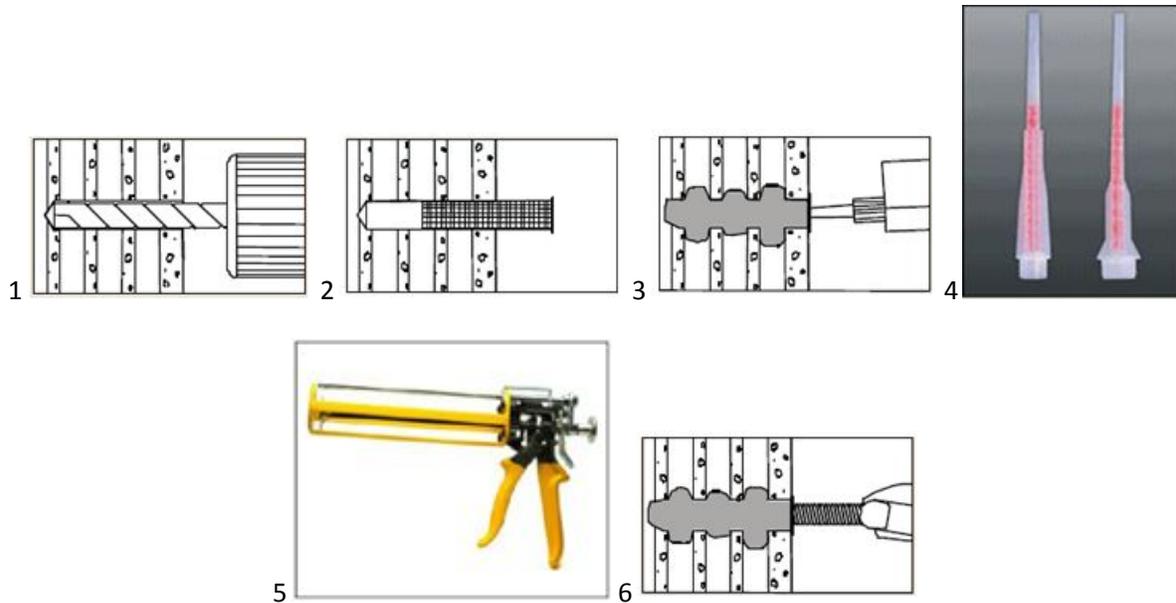


Fig 3.14 - Diversos passos e material necessário para a realização de um chumbadouro com camisa plástica em alvenaria de tijolo [31]

Apresenta-se na figura 3.15 uma vista em corte do aspecto dos chumbadouros realizados com camisas plásticas num tijolo de alvenaria.



Fig 3.15 - Vista em corte do aspecto dos chumbadouros realizados com camisas plásticas no tijolo [32]

Este método resulta mais caro do que o cimento cola devido à quantidade de cola necessária; normalmente cada bisnaga de cola serve para encher entre 6 a 8 camisas. Quando se usam estas camisas para garantir a fixação dos gatos, alguns aspectos construtivos que poderiam influenciar a qualidade do trabalho são simplificados. Deixa de ser necessário, por exemplo, ter em atenção o comprimento e diâmetro mínimos dos furos para colocar os gatos pois o tamanho da camisa plástica garante os mínimos exigíveis: se a camisa couber no furo feito então este tem o tamanho correcto.

g) Chumbadouros com buchas químicas

O método de fixação acima descrito também é passível de ser usado em zonas de betão, não sendo no entanto necessário o uso da camisa plástica.

Para realizar um chumbadouro com buchas químicas em betão devemos seguir uma sequência de passos ilustrados na figura 3.16, que se apresenta de seguida. Primeiro faz-se um furo no betão com as dimensões recomendadas pelo fabricante das buchas (1). Este furo deve ser bem limpo de poeiras antes de ser injectado com a resina (2). Esta é depois injectada no furo com o auxílio de um bico misturador e de uma ferramenta de injeção (3). O gato pode então ser introduzido na resina (4), havendo apenas a necessidade de esperar o tempo recomendado pelo fabricante para garantir que esta atinja a resistência necessária para suportar as placas pétreas.

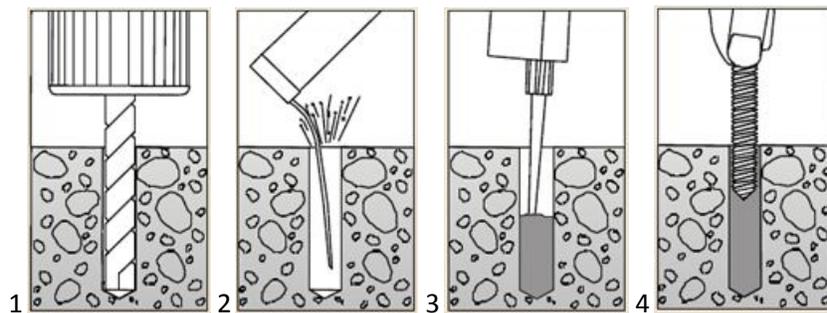


Fig 3.16 – Diversos passos e material necessário para a realização de um chumbadouro com buchas químicas em betão [31]

h) Fixação mecânica dos gatos metálicos ao suporte

O processo de fixação dos gatos à fachada do edifício que descrevemos implica a realização de chumbadouros que podem ser de argamassas, cimento rápido, colas ou resinas. No entanto, também é possível proceder à fixação dos gatos usando uma fixação mecânica, semelhante à apresentada na figura 3.17. Esta pode ser escolhida quando se trabalha em zonas de betão ou quando é necessário pôr de imediato a fixação em carga. É usada também com frequência em zonas de tectos onde se pretende suspender placas, pois não é necessário esperar que os chumbadouros sequem e ganhem presa suficiente para poder suportar a totalidade do peso do elemento pétreo.

Se se optar por este tipo de fixação, ao invés dos chumbadouros, o processo construtivo apenas difere na fixação dos gatos ao suporte, mantendo-se tudo o resto. Quando se opta pela fixação mecânica é necessário escolher gatos metálicos preparados para serem fixos com este método; para além de terem o mecanismo da cavilha metálicas de expansão têm também uma rosca que permite regular a distância entre a fachada e as pedras. Nos gatos chumbados, essa distância podia ser ajustada fazendo penetrar o gato mais ou menos no chumbadouro mas neste caso é necessário aparafusar ou desaparafusar a rosca para fazer diminuir ou aumentar essa distância.

Para se proceder à instalação de um fixador mecânico é necessário fazer um furo no suporte cujo diâmetro e profundidade dependem do tipo de fixador escolhido; estes dados são sempre fornecidos pelo fabricante do sistema de fixação e devem ser respeitados. O furo deve depois ser limpo de poeira e o fixador deve ser inserido no furo. Por fim deve aplicar-se força no aperto do parafuso que faz expandir o fixador para que este se fixe ao suporte [33].



Fig 3.17 - Exemplo de um fixador mecânico de aparafusar para gatos metálicos [33]

i) Furos nas placas de pedra

Os gatos metálicos possuem dispositivos (cavilhas ou pinos) que permitem estabelecer a ligação às pedras, devendo penetrar nos topos das pedras com um comprimento mínimo de 25mm. A maioria dos gatos disponibilizados no mercado possui cavilhas ou pinos cilíndricos, que são inseridas em furos presentes nos topos das placas de pedra. Os furos devem ser realizados de forma a que o seu eixo coincida com o eixo da espessura da placa para placas com menos de 30 mm de espessura e a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior quando se estão a usar placas com mais de 30 mm de espessura (figura 3.18).

Os furos têm de ter um diâmetro superior em cerca de 1 mm ao do diâmetro necessário para a cavilha ou estilete e uma profundidade 5 mm superior ao comprimento de inserção dos estiletos. Depois de se terem executados os furos nos topos das pedras, estes devem ser bem limpos de poeiras.



Fig 3.18 - Realização dos furos verticais nas laterais das placas de pedra para os pinos de suporte dos gatos metálicos

j) Aplicação das pedras em zonas correntes

Para se realizar a primeira fiada de pedras convém preparar uma base de suporte horizontal, onde as pedras serão pousadas e ficarão apoiadas antes da secagem dos chumbadouros. Este escoramento pode ser feito com andaimes ou com tábuas, usando cunhas se necessário para manter a horizontalidade das pedras e a altura exacta destas.

No entanto para a colocação da primeira fiada de pedras deve-se esperar que a argamassa dos chumbadouros tenha adquirido resistência necessária ou nunca antes de 24 horas após a amassadura desta. Caso se use cimento de secagem rápida este tempo pode ser bastante encurtado. O assentamento das placas de pedra das fiadas superiores pode ser feito em continuidade, não havendo a necessidade de esperar que os chumbadouros das pedras inferiores sequem por completo [23].

Primeiro colocam-se os pinos metálicos nos gatos inferiores para receber a placa de pedra. Depois é necessário aplicar a pedra, fazendo coincidir os furos desta nos pinos metálicos dos gatos inferiores. Deve-se garantir o correcto posicionamento, alinhamento e nivelamento da pedra, com a ajuda de réguas metálicas e um nível, como se apresenta na figura 3.19. Os gatos superiores podem então ser colocados, de forma idêntica á dos gatos inferiores (figura 3.20). É depois possível colocar os pinos superiores dentro dos orifícios superiores da pedra para a fixar correctamente.



Fig 3.19 - Fixação provisória das placas de pedra antes de colocação dos pinos superiores



Fig 3.20 - Inserção dos pinos nos gatos superiores da placa de pedra

É muito comum fazerem-se os furos inferiores da pedra de espessura maior, com um diâmetro de cerca de 8 a 10 mm, para facilitar o ajustamento desta aquando da colocação e para compensar algum erro nas medições ou na execução dos furos, tanto na pedra como na fachada. Os furos podem depois ser colmatados com silicone, colas ou argamassa. Usa-se preferencialmente cola ou silicone para preencher os furos inferiores da pedra e solidifica-la ao gato; é necessário preencher os furos inferiores da pedra antes de esta ser colocada, para que quando os pinos inferiores penetrem nos furos da pedra fiquem colados.

Nos furos superiores da pedra aconselha-se sempre o uso de camisas plásticas (semelhantes á ilustrada na figura 3.21) que podem ser coladas à pedra com um pouco de silicone. Estas funcionam como uma bucha que se introduz no furo superior da pedra e permite liberdade de movimento na direcção paralela à do pino. Convém sempre deixar uma distância mínima de 2mm entre a parte achatada do suporte de fixação e a parte superior da pedra inferior. Esta folga permite alguma movimentação das pedras em caso de deformação do suporte pois a camisa plástica pode correr no pino metálico [19].



Fig 3.21 - Pino metálico cilíndrico sem batente e camisa plástica para permitir liberdade de movimentos à placa de pedra

Com este procedimento tem-se a garantia que as pedras possibilitam a absorção das deformações diferenciais ao nível de cada placa, ou seja que as pedras se podem ajustar a algumas deformações que possam acontecer, tanto no edifício como nos suportes, sem partir ou rachar, visto que, por um lado, a cola ou silicone usados tem alguma elasticidade e, por outro, a ligação da camisa plástica com o pino não é colada o que permite movimento.

Como já foi referido atrás, em zonas horizontais de início ou término do revestimento de pedra pode utilizar-se a fixação das pedras pelos topos verticais para que os gatos não fiquem visíveis. Para se realizar essa fixação os processos construtivos são em tudo iguais aos já descritos. É no entanto necessário recordar que uma pedra não pode ficar fixa simultaneamente pelos topos horizontais e verticais. Por esse modo, sempre que exista a mudança de fixação dos topos verticais para os horizontais é necessário ter em atenção que se devem usar pinos adaptados para essa situação (meios pinos) como se ilustrou na figura 2.8 do capítulo 2.

1) Aplicação das pedras nas zonas de ancoragens dos andaimes

Durante o processo construtivo do revestimento da fachada, na maioria das construções são usados andaimes exteriores ao edifício que estão ancorados em certas zonas da fachada. Nessas zonas não é possível colocar as pedras de revestimento, sendo comum deixar uma pedra por colocar nas zonas onde o andaime se fixa ao prédio. À medida que os andaimes vão sendo desmontados, no final da obra, é possível ir colmatando essas zonas onde não se instalaram os elementos pétreos. No entanto, não é possível colocar as pedras como se tem vindo a fazer até essa altura pois os pinos das pedras superiores e inferiores já estariam instalados. Neste caso o que é usual fazer é, durante a construção, deixar os pinos inferiores prontos para receber a pedra que não pôde ser instalada, enquanto que na zona superior se usam meios pinos ou pinos de arranque para a pedra superior como se ilustra na figura 3.22.

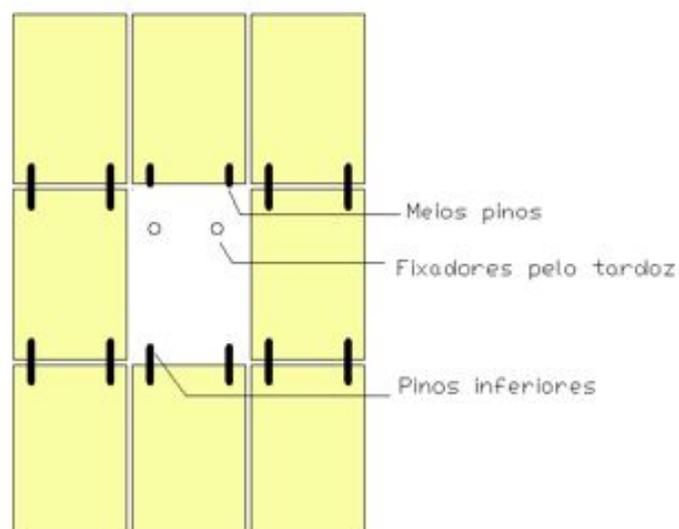


Fig 3.22 - Esquema que ilustra o método de aplicação de pedras nas zonas de ancoragem dos andaimes

Quando é possível instalar a pedra em falta, usam-se os pinos inferiores para apoiar a pedra e substituem-se os pinos de suporte superiores por uma fixação no tardo da pedra. É necessário fazer dois entalhes no tardo da pedra em forma de cauda de andorinha que são preenchidos com cola. Depois basta colocar um pouco de cola nos furos inferiores da placa que são alinhados com os pinos inferiores e encostar a parte superior da pedra para que os fixadores penetrem na cola presente no rasgo feito na pedra. Deste modo é possível garantir a fixação de uma pedra aplicada posteriormente a meio da fachada com toda a segurança [19].

m) Aplicação das pedras em zonas onde haja circulação de pessoas ou máquinas

Quando se está a fazer o revestimento de uma fachada de um edifício numa zona onde haja circulação de pessoas, é aconselhável não usar sistemas de fachada ventilada como gatos metálicos nas zonas mais baixas, acessíveis às pessoas. Na realidade este tipo de fachada não resiste bem a choques ou pancadas, havendo o risco de as pedras se partirem. Em zonas de circulação de pessoas, veículos ou carga as placas pétreas ficam substancialmente mais vulneráveis sendo por isso preferível optar por uma fachada mais resistente a este tipo de agressões, como é o caso dum zona de pedras coladas ou seladas. Em fachadas com fixação directa o risco de quebra das pedras devido a impactes é menor visto que toda a área da placa pétreia se encontra apoiada na parede. Neste caso devem ser seguidas todas as recomendações para fachadas de pedra com fixação directa acima indicadas.

Outra solução que pode ser considerada é realização de um revestimento com recurso a gatos metálicos mas com uma caixa de ar preenchida. Deste modo, garante-se uma maior resistência das pedras aos choques sem ser necessário mudar de sistema de fixação ao longo da obra. Para realizar este tipo de preenchimento da caixa de ar costuma proceder-se da seguinte forma. Primeiramente coloca-se a pedra no seu local usando os gatos metálicos de forma tradicional, como já foi descrito anteriormente. Depois das pedras inferiores estarem colocadas, basta preencher a caixa de ar com argamassa, que é despejada com baldes ou colheres de obra tendo o cuidado de não sujar a superfície da pedra.

n) Preenchimento das juntas entre placas de pedra

Depois de se terem aplicado as pedras na fachada e após secagem das argamassas, colas e silicones, se for desejado, pode proceder-se ao preenchimento das juntas entre pedras. Como se viu anteriormente, os gatos possibilitam alguma absorção de movimentos das placas; as juntas entre placas devem portanto ser preenchidas com materiais elásticos e nunca com argamassas que impeçam as deformações. Com a selagem de todas as juntas cria-se uma fachada ventilada, onde o ar apenas pode entrar e sair por cima e por baixo e não ao longo da fachada. Este comportamento traz benefícios no que diz respeito ao conforto térmico do edifício e à ventilação da caixa de ar que diminui as humidades.

Caso se opte pela aplicação de mástique nas juntas, convém fazer um teste numa pedra de características iguais às que foram usadas na fachada para verificar se o mástique não mancha a pedra.

No entanto, raramente se procede ao fecho das juntas por esta operação resultar muito demorada e dispendiosa.

Se as juntas forem preenchidas, depois da realização do trabalho devemos proceder à limpeza do excesso de material de preenchimento que tenha eventualmente ficado nas placas pétreas, enquanto este ainda se encontra fresco.

3.2.3 Estrutura de suporte intermédia

Devido ao grande número de tipos de sistemas de fixação indirecta de pedra em fachadas recorrendo a uma estrutura intermédia de suporte é difícil definir procedimentos gerais para a realização deste método de revestimento de fachadas. Existem, no entanto, alguns procedimentos comuns a todos os métodos e às várias marcas de produtos que comercializam estes suportes. Descreve-se, de seguida, dois tipos de sistemas. O primeiro sistema é composto por 3 partes: os suportes que fixam a estrutura à fachada, os elementos verticais e os elementos que fixam as pedras à estrutura, enquanto que o segundo possui além dos elementos já referidos elementos horizontais (figura 3.23).



Fig 3.23 - Exemplo de fachada revestida a pedra realizada com estrutura intermédia de suporte

a) Instalação da estrutura de suporte

Primeiramente, e para qualquer dos sistemas, é necessário instalar toda a estrutura de suporte na fachada da zona a revestir, executando as fixações à fachada através de gatos chumbados com argamassas, cimentos de secagem rápida, colas ou através de métodos mecânicos.

Os métodos de fixação mecânicos são muito usados quando as fixações são efectuadas em betão (pilares, vigas ou lajes) ou para algumas estruturas de suporte intermédio que apenas podem ser fixas

recorrendo a métodos de fixação mecânicos. Antes do proceder à fixação dos suportes é necessário cortar as placas de isolamento ou retirar o isolamento na zona onde se vão fazer os furos.

Convém lembrar que, tal como nos outros métodos abordados anteriormente, as juntas entre dois suportes de materiais diferentes ou as juntas de dilatação dos edifícios devem ser replicadas na estrutura de suporte das pedras. De outra forma, poderiam haver esforços acrescidos na estrutura de metal que poderia desprender-se da fachada ou partir-se.

b) Procedimentos para a instalação de sistemas de suporte intermédio sem elementos horizontais

Os procedimentos seguintes para a instalação do primeiro sistema de fixação (aquele que não possui elementos horizontais) são agora descritos. Depois de se terem fixo os suportes na fachada, é necessário fixar os elementos verticais nos suportes, através de parafusos ou outros elementos fornecidos pela marca das fixações. Existem marcas que vendem extensões que são fixas aos suportes para fazer aumentar a distância entre os elementos verticais e a fachada do edifício, fazendo assim aumentar a caixa-de-ar entre a fachada e os elementos pétreos. A distância entre os suportes que fixam os elementos verticais também varia conforme a marca e material do sistema instalado e o tipo, espessura e tamanho das pedras usadas, podendo variar entre comprimentos da ordem de 1 a 2 metros.

É nestes elementos verticais que se vão fixar os suportes para as pedras, que normalmente são compostos por pinos metálicos, como no método dos gatos metálicos. As pedras fixam-se a estes suportes, do modo já descrito no método anterior, através de pinos metálicos que penetram em buracos executados nas faces das pedras, e colados, com recurso a silicones e camisas plásticas.

i) Instalação das pedras – fixação pelos topos horizontais

Caso se opte por fazer os furos verticais nas faces horizontais das pedras, será necessário instalar dois elementos verticais para cada fiada de pedras. Estes estarão afastados entre eles da distância que corresponde ao comprimento total da placa de pedra ao qual subtraímos a distância que medeia entre as faces da pedra e a zona onde são executados os furos. Como é usual deixar uma distância de cerca de $1/5$ do comprimento da pedra entre a borda da pedra e o furo, conclui-se que a distância entre os suportes verticais é de aproximadamente $3/5$ do comprimento da placa de pedra (figura 3.24).

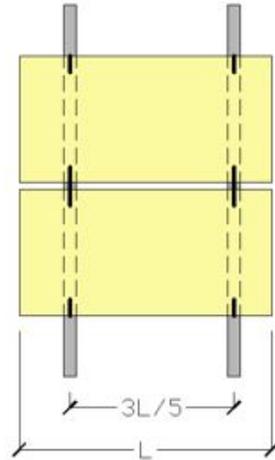


Fig 3.24 - Esquema da instalação das pedras com fixação pelos topos horizontais

ii) Instalação das pedras – fixação pelos topos verticais

Também é possível fazer os furos horizontais nas faces verticais das pedras; neste caso, a distância entre os elementos verticais será igual ao comprimento das pedras usadas (figura 3.25).

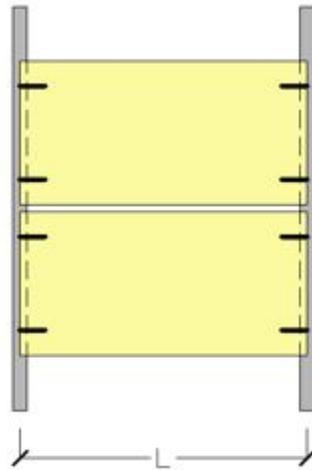


Fig 3.25 - Esquema da instalação das pedras com fixação pelos topos verticais

iii) Instalação das pedras

Para se instalarem as pedras, é necessário começar por fixar os suportes inferiores das pedras da primeira fiada nos elementos verticais da estrutura de suporte. As pedras são depois inseridas nos pinos metálicos inferiores. Os pinos superiores e os respectivos suportes são colocados nos furos superiores da pedra do mesmo modo e seguindo as mesmas recomendações do método de gatos metálicos.

A pedra é então encostada à estrutura de suporte e os suportes metálicos superiores são aparafusados à estrutura. Tal como já foi explicado no método dos gatos metálicos é necessário usar camisas de plástico nos orifícios superiores da pedra e fazer um furo de diâmetro superior na zona inferior da pedra que é depois colmatado com silicões para garantir a possibilidade da pedra absorver deformações. Convém sempre deixar uma distância mínima de 2mm entre a parte achatada do suporte de fixação e a parte superior da pedra inferior, que servirá de folga para permitir deformações [19].

Este processo é repetido até se terem colocado todas as pedras da fachada. As juntas entre pedras podem ser fechadas ou deixadas abertas. Caso se decida preencher as juntas, o material de preenchimento escolhido deve ser flexível, como silicone ou mástique; não se podem usar materiais rígidos como argamassas que impediriam os movimentos das pedras, podendo causar a ruptura destas.

c) Procedimentos para a instalação de sistemas de suporte intermédio com elementos horizontais e verticais

O segundo sistema de fachadas com estrutura intermédia inclui todos os elementos descritos para o primeiro método aos quais se acrescentam elementos horizontais, como se ilustra na figura 3.26.

Tal como no primeiro método, os elementos verticais são fixos aos suportes na fachada com parafusos ou outras peças fornecidas. A distância entre elementos verticais neste método é habitualmente maior pois já não é influenciada pela medida do comprimento das pedras e depende da marca e do tipo do sistema escolhido mas é usual optarem se por espaçamentos entre 1 metro e 1,5 metros.

Depois dos elementos verticais terem sido fixos aos suportes, é necessário instalar os elementos horizontais. Estes são fixos através de encaixes próprios que correm em calhas existentes nos perfis verticais ou através de parafusos nos elementos horizontais, com um afastamento entre eles que corresponde à altura das pedras. Nesses perfis são instalados acessórios metálicos para segurar as placas de pedra.

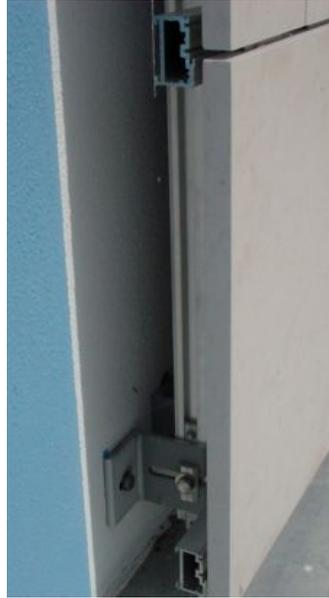


Fig 3.26 - Pormenor de uma estrutura intermédia de suporte onde são visíveis os elementos verticais e horizontais que compõem o sistema

i) Acessórios de fixação das pedras

Algumas marcas (Eclad, por exemplo) optam pela colocação de acessórios de retenção das placas pétreas, apelidados de clips, que se vão encaixar em rasgos ou calhas talhados nas pedras. É um método diferente de retenção das placas pétreas do método dos pinos usado nos gatos metálicos, pois em vez de se fazerem 4 furos em cada pedra faz-se um rasgo nos topos horizontais da pedra a todo o comprimento desta.

Este corte é feita na pedreira, através de máquinas com discos de corte; a pedra é deitada num tapete rolante, e um disco de corte horizontal com cerca de 1 cm de espessura abre um rasgo ao longo dos topos da pedra (figura 3.27). Deste modo, obtém-se uma calha com 1 cm de espessura, que tem de estar alinhada com o eixo da pedra, como se pode ver na figura 3.28. Para pedras com 3 cm de espessura (a espessura mínima para ser aplicada neste tipo de fachadas) há sempre 1 cm de pedra de ambos os lados do rasgo. Essa espessura é suficiente para garantir que a pedra não se parta ou lasque na zona junto às fixações.



Fig 3.27 - Máquina para realizar as calhas nos topos das placas de pedra



Fig 3.28 - Detalhe da calha efectuada na pedra para colocação do clip de suporte

Para instalar as pedras usam-se 3 tipos diferentes de clip's: os clip's de arranque (que possuem apenas um elemento metálico que entra na calha inferior das pedras, apoiando-as), os clips de fecho (que possuem apenas um elemento metálico que entra na calha superior das pedras, fixando-as) e os clips de seguimento (que possuem dois elementos metálicos que entram na calha superior duma pedra e na inferior da pedra que está na fiada de cima e que estão ilustrados na figura 3.29).

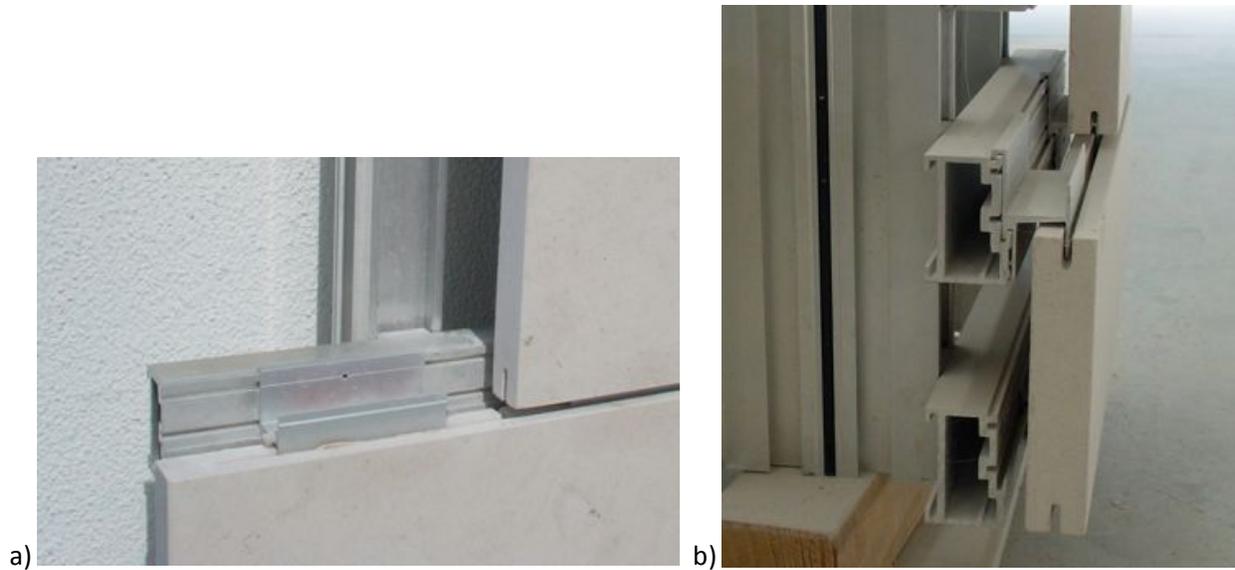


Fig 3.29 - Detalhe de uma fachada com estrutura intermédia de suporte onde se observa um clips de seguimento para fixar a placa de pedra e as calhas nas pedras: a) vista frontal b) lateral

ii) Instalação das pedras

Para iniciar a instalação da primeira fiada de pedras fixa-se na calha horizontal clips de arranque, usualmente dois por pedra. Depois, apoia-se a pedra sobre estes clips, que se encaixam na calha inferior da pedra. É depois necessário colocar outros dois clips, neste caso clips de seguimento, na calha superior da pedra e pressionar o conjunto pedra e clips de encontro ao suporte horizontal superior, visto que estes clips são fixos por meio de encaixe sob pressão nas calhas.

Seguindo este procedimento, fixa-se a primeira pedra, sendo o procedimento igual para a continuação da primeira fiada de placas pétreas. Para a segunda fiada, basta começar por apoiar logo as pedras sobre os clips de seguimento da fiada inferior que possuem encaixes para as pedras de cima, e do mesmo modo fixar a pedra com outro clip de seguimento na parte superior da pedra. Vai-se continuando com este processo até se ter feito a fachada toda; na última fiada de pedras, os clips que fixam as pedras deverão clips de fecho.

É importante referir que convém aplicar silicone na calha das pedras onde serão apoiados e fixos os suportes metálicos; deste modo garantimos que a pedra possa absorver algumas deformações devido ao facto de o silicone ser flexível mas evitamos vibrações que possam acontecer, provocadas pelo vento, que fariam com que a pedra oscilasse de encontro aos suportes.

iii) Juntas entre as pedras

As juntas entre as pedras podem ser deixadas abertas ou colmatadas com um material flexível, como silicone. Antes de aplicar mástiques nas juntas é necessário testar numa pedra de características iguais às que foram empregues na fachada se o mástique não mancha ou danifica a pedra.

Caso as juntas sejam deixadas abertas convém, antes de colocar as pedras, fazer uma reentrância (figura 3.30) no meio da parte superior da pedra, na zona da calha, para que a água que ali se deposite possa sair. Se não for tomada esta precaução, a água que possa ficar acumulada na calha superior das pedras infiltrar-se-à na pedra e originaria mudanças de coloração e contaminação na pedra e a consequente rápida degradação desta.

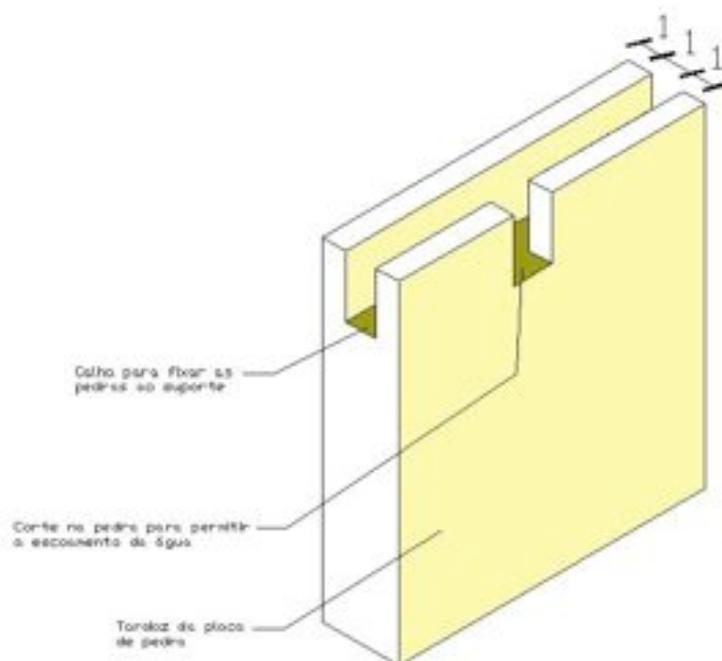


Fig 3.30 – Pormenor do tardoz de uma placa de pedra com uma reentrância para escoamento de água

Caso as juntas sejam preenchidas, depois da realização do trabalho deve-se proceder à limpeza do excesso de material de preenchimento que possa ter ficado nas placas pétreas, enquanto este ainda se encontra fresco.

4 Anomalias - Patologias

As patologias em fachadas revestidas a pedra representam, actualmente, um grave problema nas construções, por um lado devido ao risco de desprendimento e queda destas, por outro porque um revestimento em bom estado tem um papel importante na durabilidade e protecção das fachadas. Além disso, como os revestimentos representam a face visível dos edifícios, as patologias nestes elementos afectam muito a estética dum edifício [34].

Esta fase de construção deve pois ser bem planeada desde a fase de projecto. Ainda é raro no nosso país haver especificações pormenorizadas dos revestimentos em pedra, mas tal é imprescindível para que as decisões sejam planeadas em vez de serem tomadas no estaleiro. Na parte do projecto de revestimento de fachadas devem ser definidos e detalhados a natureza e as dimensões das placas a instalar incluindo a sua espessura e o corte, a largura e materiais de preenchimento das juntas, o tipo, material, número e localização das fixações, com todos os pormenores para uma correcta interpretação [22]. Pode também ser importante, além das especificações necessárias, haver a descrição de como o revestimento deve ser realizado [34].

Na realidade grande parte das patologias que ocorrem durante a vida útil das fachadas têm origem em anomalias ou não seguimento dos procedimentos correctos durante a fase construtiva. Deste modo, uma correcta formação dos aplicadores e uma cuidada fiscalização e cumprimento do plano de qualidade durante o trabalho é imprescindível.

Descrevem-se de seguida algumas das patologias mais comuns associadas aos vários tipos de fixação de pedra estudados, focando essencialmente apenas as patologias que possam advir deste tipo de fixação. São portanto excluídas desta descrição as anomalias das pedras que não estão directamente ligadas ao sistema de fixação destas. Também não serão referidos neste capítulo os defeitos que já foram enumerados na parte de controlo de qualidade (ex: falta de planeza dos revestimentos, etc.)

4.1 Efeitos da água nas pedras

4.1.1 Problemas gerais e aplicação de hidrófugos

Os efeitos da chuva, aliados às características do meio urbano onde muitos edifícios se encontram, afectam todos os revestimentos em pedra, provocando a formação de uma crosta de sulfato de cálcio à superfície das pedras mais expostas que estão carregadas de anidrido sulfuroso. A água facilita também a ligação das sujidades ao material, criando manchas de sujidade, de humidade e de contaminação biológica.

Para proteger os revestimentos das sujidades provocadas pela chuva e pela poluição existe a possibilidade de aplicar um hidrófugo nas superfícies [35]. A sua aplicação sobre uma fachada revestida a elementos de pedra melhora a sua impermeabilidade, selando os poros das pedras; facilita assim a sua limpeza, melhora a sua estética e aumenta a sua durabilidade [36].

A aplicação de um hidrófugo não resolve, no entanto, todos os problemas das pedras e não deve ser usado para tentar diminuir os danos causados por uma má colocação do material. O uso destes produtos deve ser feito de forma cautelosa, pois para além de impedirem a entrada de água do exterior para o interior das pedras, também dificultam a saída de água e humidades que possam estar no interior da pedra [35].

Não são raras as vezes em que a aplicação de produtos hidrófugos amplifica ou piora as patologias presentes nas pedras, na maior parte dos casos devido à falta de conhecimentos ou cuidados na aplicação destes.

4.1.2 Cuidados a ter na aplicação de hidrófugos – patologias resultantes da má aplicação de hidrófugos

Antes de aplicar o produto hidrófugo, deve haver a verificação de que este é adequado para o tipo de pedra que está a ser utilizada e seguir as instruções fornecidas pelo fabricante. Não se devem aplicar este tipo de produtos em pedras já alteradas. O suporte deve estar limpo, sem partes friáveis, e devendo ser dada especial atenção ao estado das juntas que devem estar em boas condições sem fissuras ou falhas [35].

Nunca se devem aplicar produtos hidrófugos nas faces de paredes que sofrem de ascensão capilar. Os níveis de infiltração da água subiriam ainda mais pela parede devido à acção do hidrófugo que dificulta a evaporação dessa água. Os sais contidos no solo, no suporte ou nas argamassas provocariam eflorescências a cotas superiores dessas paredes, podendo mesmo acontecer a formação de bolhas no filme protector de produto e consequentemente uma maior degradação da pedra [35].

Do mesmo modo, é necessário ter em atenção a utilização destes produtos em zonas de infiltração de águas que têm origem nas partes superiores do edifício, como as coberturas. Caso se coloquem estes produtos em fachadas com cotas inferiores às zonas onde possam existir infiltrações de água, esta migra para essas zonas mais baixas por gravidade e fica aprisionada dentro das pedras, podendo causar a formação de bolhas, empolamentos, destacamentos ou manchas nas pedras, piorando assim o efeito da entrada de água. Pelo mesmo motivo, as juntas devem ter sido bem tratadas para que não haja penetração de água pelas juntas que ficaria depois aprisionada dentro das pedras [35].

A aplicação deste tipo de produtos também nunca deve ser executado imediatamente após a aplicação das pedras especialmente no caso de fachadas com fixação directa dos elementos pétreos. Neste caso deve esperar-se pelo menos 30 dias após a sua colocação para garantir que toda a água usada nos produtos de colagem das pedras já tenha evaporado e que não exista portanto nenhuma humidade que pudesse ficar aprisionada entre o hidrófugo e o suporte. É necessário também esperar algum tempo antes de aplicar os produtos impermeabilizantes nas pedras no caso de fachadas ventiladas, pois os próprios chumbadouros são realizados com cimento que contém água. Para a aplicação de produtos impermeabilizantes num revestimento existente deve também garantir-se que o suporte se encontra

seco e sem humidade. Por esse motivo, é sempre necessário assegurar que a aplicação apenas ocorre cerca de 48 horas após qualquer precipitação de água que possa ter molhado as pedras [2].

4.2 Fixação directa ao suporte: Patologias associadas

No caso da técnica de fixação directa ao suporte dos elementos pétreos existem alguns tipos de patologias que podem ocorrer mais frequentemente. Na realidade, neste tipo de fixação é bastante susceptível acontecerem destacamentos e desprendimentos de pedras, manchas de humidade, eflorescências, descolorações entre outras anomalias.

4.2.1 Destacamento ou descolamento de pedras

Destas patologias a mais gravosa e a que tem de ser mais tida em conta será sem dúvida o **destacamento ou descolamento de pedras** (figura 4.1), pelo risco de queda de elementos pétreos das fachadas dos edifícios. Este risco é tanto mais elevado quanto maior for o peso das placas de pedra e a altura a que estas podem estar colocadas.



Fig 4.1 - Fachada de um edifício onde é visível o destacamento de várias placas de pedra [14]

O risco de descolamento das pedras nunca pode ser eliminado, mas caso se sigam os processos construtivos acima descritos e caso se usem produtos adequados e de qualidade o risco de desprendimentos das pedras pode ser bastante minorado. No entanto, o processo de colocação em obra duma fachada deste tipo é bastante delicado pois existem vários factores que podem condicionar a resistência do revestimento. Como já foi visto anteriormente, as superfícies da fachada e das placas de pedra têm de estar limpas e sem poeiras para garantir uma aderência perfeita do ligante. O teor em água também é muito importante; as superfícies não podem estar nem demasiado secas nem demasiado saturadas em água para que não haja uma redução de eficácia da colagem. O produto de colagem também tem de ser adequado para as pedras que se vão colar e tem de ser compatível com o

tipo de suporte onde será aplicado [35]. Além disso, tem de estar nas melhores condições, dentro do prazo de validade e não pode ser aplicado fora do tempo de abertura recomendado pelo seu fabricante sob pena de não resistir às tensões anunciadas. Este critério é particularmente importante quando se trabalha em áreas muito extensas, onde o tempo entre o barramento da cola e a aplicação das placas se torna demasiado elevado [29].

Os produtos de colagem têm, além dos aspectos já mencionados, de cobrir bem toda a face da pedra e do suporte; por esse motivo, as deficiências na planeza do suporte que podem implicar uma perda de área de colagem têm de ser evitadas [22]. Os elementos pétreos têm de ter alguma rugosidade no seu tardo para permitir boa aderência da pedra, sem que isso implique uma falta de planeza da própria placa [29]. As juntas de dilatação do edifício têm também de ser replicadas no revestimento pétreo para evitar tensões suplementares naquelas zonas. Segundo [35] se o revestimento de pedra não for suficientemente elástico para acompanhar os pequenos deslocamentos do suporte devido a cargas, fluências, dilatações e retracções, os descolamentos de pedras são a principal patologia deste tipo de revestimentos [35].

O assentamento dos elementos pétreos, que têm elevado peso e baixa rugosidade superficial no tardo das peças, requer do material de assentamento altas exigências de desempenho, devido aos grandes esforços a que este pode estar sujeito [30].

Este processo de fixação de pedras gera tensões mais elevadas nas interfaces da placa, cola e suporte do que nos métodos das fixações mecânicas devido à maior restrição de movimentos que cria. As tensões derivadas do peso das pedras, das variações térmicas e das variações higrométricas criam fraquezas no sistema de fixação. Além disso, as variações dimensionais derivadas das diferenças de temperatura e da humidade são cíclicas ao longo do dia e do ano e criam um efeito de fadiga dos materiais que os fragiliza mais. Os ciclos de dilatações e contracções geram tensões que fazem perder a eficácia dos materiais de colagem ao fim de poucos anos, que assim dificilmente resistem às solicitações reais a longo prazo [22]. Quando se usam argamassas de cimento no assentamento do revestimento, a resistência destas está ligada ao seu teor de ligante. Devido ao peso das placas de pedra ser importante, é comum considerar argamassas bastante ricas, que ao secar provocam tensões de retracção elevadas, que são restringidas pela aderência ao suporte e às placas de revestimento. Devido à mais baixa deformabilidade das argamassas ricas, estas tensões podem provocar a sua fissuração ou o seu desprendimento do suporte ou da placa de granito [30].

As infiltrações de água pelas juntas entre as pedra ou pelo topo do revestimento também contribuem para a deterioração dos produtos de colagem.

Como já foi referido, as principais causas para o descolamento de placas de pedra são as tensões que se instalam nas interfaces entre os elementos pétreos, a cola e o suporte devidas ao peso das placas, as variações térmicas e higrométricas, as eventuais variações dimensionais do suporte e as infiltrações de água. Estas tensões são amplificadas pelo uso de uma cola que não seja adequada ou pela colagem das pedras de um modo incorrecto (ausência de juntas, fraca aderência das colas ou do suporte). Caso se garanta que estes pontos foram devidamente controlados durante a obra pode ser dada a garantia que

o revestimento foi aplicado conforme as boas práticas e que o seu período de vida não será condicionado.

Se ocorrer algum desprendimento de uma placa de pedra de uma fachada, a análise da placa que se descolou e do suporte permite perceber melhor a razão da ocorrência deste fenômeno. Na realidade, após a observação do tardo da placa de pedra descolada e do suporte é possível limitar os fenômenos que deram origem a esta patologia. Se a placa de pedra descolada não possuir cola no seu tardo, isso indica que houve uma ruptura adesiva na interface entre a placa e a cola usada na sua aplicação. A origem deste falta de aderência pode ser explicada pela utilização de cola não adequada à porosidade da pedra ou demasiado fraca para as dimensões do elemento a colar, pela aplicação de cola que já tivesse ultrapassado o seu tempo de abertura recomendado [29]. Caso seja possível ver pedaços de cola tanto no tardo da placa de pedra como no suporte, isso indica que houve uma ruptura coesiva da cola. As causas deste tipo de ruptura podem ser explicadas pela espessura excessiva de cola ou pela não humedificação das placas de pedra antes da sua aplicação [37]. Se tiver havido uma ruptura adesiva na interface entre a cola e o suporte, esta caracteriza-se pela presença da totalidade da cola utilizada na fixação do elemento pétreo colada a este. Esta situação pode ser originada tanto pela contaminação do suporte com poeiras, como pela sua temperatura excessiva ou humidade insuficiente que causaram uma secagem excessiva deste aquando da aplicação da cola [37]. Por último, a causa do descolamento de pedras de fachada pode ainda ser devida a uma ruptura coesiva do suporte. Neste caso, está-se perante um suporte que não apresenta as devidas condições para receber um revestimento aderente do peso e dimensão do que foi aplicado [29]. Após a observação do elemento descolado e da análise da cola é ainda possível verificar se durante a aplicação das placas de pedra foi aplicada força suficiente que permitisse esmagar os cordões de cola; na realidade, se estes cordões forem visíveis na cola, é sinal claro que a força aplicada foi insuficiente, o que pode ter também provocado esta patologia.

4.2.2 Fracturação ou fissuração

Os fenômenos que podem causar o descolamento ou desprendimento das placas de pedra do suporte também podem originar outro tipo de patologia: a **fracturação ou fissuração** do elemento pétreo. As pedras fissuradas terão depois mais tendência para se descolarem do suporte, visto que podem existir infiltrações de água pelas fissuras que danificam o suporte e a cola, como se pode ver na figura 4.2. Este tipo de patologia também pode ocorrer devido a pancadas em embates principalmente se este for colocado em zonas expostas [2].



Fig 4.2 - Detalhe da fachada de um edifício onde é possível ver o fracturação dos cantos de placas de pedra

4.2.3 Eflorescências

Outro tipo de patologias que podem ser encontradas em revestimentos de fachadas através de fixação directa ao suporte são as **eflorescências**. Este tipo de patologia é normalmente causado pela dissolução dos sais solúveis existentes no suporte ou nos elementos pétreos pela acção das águas pluviais, de humidades ascendentes ou de humidades presente no suporte. Quando esta água e humidade evaporam à superfície, os sais que estavam dissolvidos precipitam à face da pedra [14]. Os principais problemas relacionados com as eflorescências em fachadas são de natureza estética. No entanto, o processo de cristalização de sais à superfície de materiais porosos, como os elementos pétreos, pode originar tensões que conduzem à degradação e envelhecimento dos materiais de revestimento, por alteração das suas propriedades físico-químicas e mecânicas [13].

Para prevenir este tipo de patologia existem várias soluções que podem ser sugeridas. Se se verificar que o aparecimento de eflorescências é mais visível em zonas perto do solo, e que estas são devidas a humidades ascendentes, é possível realizar um corte hídrico nessas zonas em contacto com o solo para evitar a subida do fluxo de água ou realizar trabalhos para drenar o solo nessa zona [14].

Se os depósitos de eflorescências se localizarem à superfície das pedras e com grande intensidade nas juntas de colocação (figura 4.3), convém verificar a estanquidade destas juntas. Por vezes, as juntas de colocação podem ter sido deixado abertas ou terem sido mal preenchidas, o que permite que toda a água da chuva possa penetrar na fachada. A água, ao infiltrar-se entre os produtos de colagem e as placas pétreas do revestimento, pode lixiviar o material de colagem, dissolvendo sais e arrastando-os até à superfície, originando assim as eflorescências visíveis [38]. A superfície das placas pode ainda ficar degradada, podendo apresentar efeitos de lascagem e manchas na superfície da pedra [13].

Se as eflorescências foram provocadas pelas águas pluviais ou por infiltrações de água pode proceder-se à impermeabilização dos topos das fachadas para evitar infiltrações e à utilização de produtos que repelem a água nas juntas entre pedras [14].



Fig 4.3 - Detalhe de uma fachada de um edifício onde são visíveis eflorescências com maior intensidade nas juntas entre pedras [14]

4.2.4 Manchas nos elementos pétreos

Os métodos de fixação directa de pedras em fachadas são também bastante propícios para o aparecimento de **manchas nos elementos pétreos** (figura 4.4). Existem três causas possíveis para a formação de manchas nas pedras: pode existir a penetração de substâncias a partir do suporte, penetração de substâncias a partir da superfície e a descoloração de substâncias no interior da pedra que formam manchas visíveis pelo exterior [14].



Fig 4.4 - Detalhe de uma fachada de um edifício onde são visíveis manchas nas placas de pedra [14]

a) Penetração de substâncias a partir do suporte

A penetração de substâncias a partir do suporte pode ter origem no próprio produto de colagem que se infiltra pelo tardo da placa de pedra, ficando depois visível à superfície sob a forma de manchas. Estas manchas podem criar-se logo após a colocação das pedras, quando o produto de colagem ainda se encontra fresco. Existe transporte de substâncias que estão dissolvidas no excesso de água presente na cola e que passam para a pedra devido à evaporação através dos capilares das pedras naturais em direcção à superfície. Este tipo de patologia é identificável por se conseguir distinguir nas manchas as zonas onde a cola foi aplicada. Este tipo de manchas acontece, com maior frequência, quando não se

respeitam os tempos de espera antes de se colmatarem as juntas entre as pedras. Na realidade, depois de fixar as pedras ao suporte, é necessário aguardar que as colas sequem para garantir que a humidade presente no ligante possa secar antes de se preencherem as juntas. Estas formam barreiras impermeáveis à água e ao vapor que impedem a correcta secagem das colas que originam assim as manchas visíveis pelo exterior [14]. Esta patologia ocorre com mais frequência quando se usam colas à base de cimento que podem propiciar com mais facilidade manchas nas pedras mais claras [10]. Em pedras muito sensíveis ou de cores mais claras (como alguns tipos de mármore), podem ser utilizados ligantes de cimento branco ou produtos especialmente estudados para o efeito (isentos de pigmentos que oxidem) compostos por agentes ligantes de cor branca ou látex de borracha sintética, ou pode-se também proceder à impermeabilização do tardo das placas [39].

As manchas também podem ir aparecendo ao longo do tempo devido à infiltração da água da chuva pelas juntas entre placas ou pelo topo do revestimento que humedecem a cola localizada entre a pedra e o suporte. Esta situação é mais passível de acontecer quanto não existe um correcto alinhamento das pedras e quando as juntas não estão devidamente preenchidas [40]. Como este método de fixação de pedras não possibilita grande permeabilidade nem circulação de ar entre o suporte e os elementos pétreos, a humidade presente pode provocar manchas ao dissolver o ligante que se impregna nas pedras. Neste caso, este tipo de manchas é identificado pela sua localização; é comum aparecerem nos contornos das placas de pedra ou nos contornos duma fachada, que são os pontos mais susceptíveis para as infiltrações [14]. Convém ainda assegurar que os sistemas de drenagem das águas pluviais afastam a água das fachadas e que existe uma correcta drenagem de humidades da base das fachadas [39].

As manchas podem ainda derivar da própria humidade que não seca facilmente e provoca, assim, manchas de humidades visíveis na superfície exterior da pedra [22]. Estas são mais frequentes se as condições ambientais do local de aplicação não facilitarem a evacuação da humidade (zonas sombrias ou com pouca ventilação). Usualmente nas rochas mais impermeáveis a humidade concentra-se mais nas zonas perto das juntas das pedras, enquanto que as rochas porosas a absorvem uniformemente por toda a superfície [39].

b) Penetração de substâncias a partir da superfície

As manchas visíveis nas pedras podem também ser originadas pela penetração de substâncias a partir da superfície. Como as pedras têm algum grau de porosidade, é possível que produtos possam penetrar no interior das pedras. Para minorar a penetração de líquidos nas pedras é possível impregnar as pedras após a sua aplicação com produtos que, ao colmatar os poros das pedras, repelem os líquidos [14].

c) Descoloração de substâncias no interior da pedra

Outro factor que pode originar manchas nas pedras é a descoloração de substâncias no interior da própria pedra. Embora mais raro do que as causas acima mencionadas, é possível que algumas das substâncias que constituem as pedras naturais, tais como a pirite (presente nos granitos, mármore e ardósias), a biotite (presente nos granitos e gneisses) e a granada possam formar manchas. Este tipo de fenómeno de descoloração não pode ser evitado visto que está relacionado com o processo de climatização das pedras naturais [14].

4.2.5 Danificação do material de preenchimento das juntas

Uma anomalia que pode ocorrer em revestimentos de fixação directa ao suporte é a degradação do material de preenchimento das juntas entre as pedras. Este material pode-se descolar das pedras, abrir fendas e rachas ou mudar de cor. É importante que as juntas estejam bem preenchidas para evitar a entrada de água que poderá provocar algumas das patologias já descritas tais como o descolamento das placas de pedra ou a formação de manchas nas pedras. Esta patologia tem maior probabilidade de ocorrência em casos em que o material de preenchimento usado não era indicado ou não tivesse as características necessárias tais como elasticidade ou durabilidade.

4.3 Fixação indirecta ao suporte: Patologias associadas

4.3.1 Agrafos e pontos de argamassa

A realização de um revestimento de fachada empregando a técnica de agrafos e pontos de argamassa pode originar patologias, algumas das quais similares às encontradas nos revestimentos de fixação directa ao suporte.

4.3.1.1 Fissuração nas placas de pedra

Os pontos de argamassa que servem para ajudar os agrafos a resistirem a forças de flexão, introduzem sempre alguma restrição às deformações, gerando assim tensões que podem provocar **fissuração nas placas** de pedra. Para evitar este tipo de danos nas pedras é necessário, como já foi explicado atrás, deixar juntas entre as pedras de tamanho adequado que podem ser preenchidas com materiais elásticos que absorvam as deformações e verificar que não se fixou uma pedra a vários suportes diferentes [22].

4.3.1.2 Manchas localizadas nas zonas dos pontos de argamassa

Nas zonas dos pontos de argamassa é possível que exista penetração de substâncias originárias do produto de colagem que se infiltra pelo tardo da placa de pedra, ficando depois visível à superfície sob

a forma de **manchas localizadas** nas zonas dos pontos de argamassa. Para evitar este tipo de patologias a argamassa não deve conter excesso de água, para evitar que ocorra o transporte de substâncias para a pedra devido à evaporação através dos capilares das pedras naturais em direcção à superfície. Tal como nos métodos de fixação directa, este tipo de patologias pode ocorrer também devido ao não respeito do tempo de secagem da argamassa antes de se preencherem as juntas entre pedras [14]. No entanto, como há sempre circulação de ar que entra e sai pela parte superior e inferior da fachada devido ao facto de existir uma caixa-de-ar formada no espaço entre a fachada e o revestimento, esta pode não ser a única razão para o aparecimento das manchas.

Os pontos de argamassa podem constituir barreiras para a água que entre no espaço da caixa-de-ar. Na realidade, caso existam infiltrações em zonas de juntas entre placas de pedra ou pelo topo da fachada, a água pode ficar estagnada sobre os pontos de argamassa, que ficam saturados de água. Essa humidade dos pontos pode, como já foi referido, provocar manchas visíveis pelo exterior das pedras mas pode também provocar infiltrações para o interior do edifício [22]. Esta situação é agravada pela eventual falta de planeza do revestimento, com pedras não alinhadas umas às outras, criando assim desníveis entre a pedras onde a água pode ficar estagnada ou entrar para a caixa de ar.

4.3.1.3 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação

Uma anomalia que pode acontecer em todos os sistemas que recorrem a agrafos ou gatos metálicos para fixar as pedras é a **lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação** no topo das pedras. Esta anomalia é provocada usualmente pelas tensões excessivas nos elementos de pedra, mas também pode ser originada pelo desaprumo dos elementos de pedra que criam tensões suplementares nos apoios metálicos. Esta anomalia terá mais probabilidade de acontecer quando não é respeitada a distância mínima entre a face exterior das pedras e o eixo dos furos realizados para colocar os gatos nos elementos pétreos [2].

4.3.1.4 Quebra ou fracturação de placas de pedra

Este tipo de revestimento fica sujeito à **quebra ou fracturação** de placas de pedra se for aplicado em zonas de passagem de pessoas ou máquinas. Tal como referido anteriormente, em zonas mais baixas ou zonas de passagem é recomendável aplicar o revestimento utilizando um sistema de fixação directa que resiste melhor aos choques. Tensões excessivas nas placas de pedra que, como foi referido, podem causar a fissuração do revestimento, também podem levar à fracturação deste.

4.3.1.5 Infiltrações pela caixa de ar

Tal como nas restantes técnicas de revestimento de fachadas, a maioria das patologias que ocorrem durante a vida da obra estão, de alguma forma, relacionadas com a água da chuva. Caso as juntas entre

as pedras tenham sido deixado abertas, em casos de chuva e ventos fortes, a água pode atingir o paramento da fachada do edifício. Em situações como estas existe sempre o risco de haver infiltrações devido à água que é retida ou fica acumulada nos pontos de argamassa.

Também podem ocorrer infiltrações de água para a caixa de ar que entra pelo topo do revestimento, caso não haja nenhuma protecção ou capeamento que impeça essa entrada.

4.3.1.6 Corrosão dos agrafos metálicos

Uma patologia que também pode ocorrer neste método de revestimento de fachadas que usa elementos metálicos é a **corrosão** destes. No entanto, devemos referir que, como a maior parte dos agrafos se encontra embebida nos pontos pela argamassa ou dentro dos furos das pedras, é bastante raro haver corrosão neste tipo de técnica. Não obstante, é recomendável escolher suportes realizados em material inoxidável, adaptados às condições onde serão instalados, e realizar uma inspecção dos suportes aquando da chegada à obra em busca de corrosão.

O método de fixação recorrendo a agrafos com pontos de argamassa apresenta também como desvantagem a dificuldade em detectar as suas anomalias. Na realidade, como os elementos metálicos estão envoltos em argamassa, numa eventual inspecção, defeitos como a corrosão dos elementos metálicos pode não ser notada. Convém, no entanto, referir que estas inspecções, em qualquer caso, só são realizadas quando existe a suspeita de alguma anomalia, pois para analisar as fixações da zona corrente da fachada é necessário remover as pedras de revestimento [22].

4.3.2 Gatos Metálicos

A técnica de revestimento pétreo usando gatos metálicos permite realizar revestimentos mais flexíveis, que podem assim absorver mais deformações do que os agrafos e pontos de argamassa. Deste modo, algumas das patologias que podem ser associadas ao revestimento com agrafos não são comuns em fachadas revestidas usando a técnica dos gatos metálicos, desde que estes tenham sido correctamente aplicados.

4.3.2.1 Fissuração nas placas de pedra

Se forem geradas tensões elevadas nas placas de pedra podem aparecer **fissuras nas placas**; este tipo de danos costuma ocorrer frequentemente quando as juntas entre as pedras não têm o tamanho adequado, quando estão preenchidas com materiais não elásticos ou quando se fixou uma pedra a vários suportes diferentes. Caso não se permita liberdade de movimentos da pedra através da colocação de camisas plásticas nos pinos superiores, podem-se gerar também tensões que conduzem ao aparecimento de fissuras nas placas de pedra [22].

4.3.2.2 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação

Uma anomalia que também pode acontecer em sistemas de fixação que recorrem a gatos metálicos é a **lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação** no topo das pedras (figura 4.5). As causas para este tipo de anomalia são idênticas às já foram descritas no método dos pontos de argamassa, no ponto 4.3.1.3 [2].



Fig 4.5 - Pormenor da placas de pedra onde é possível ver a lascagem junto ao gatos de suporte

4.3.2.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra

Este tipo de revestimento pode estar sujeito à **quebra ou fracturação** de placas de pedra, essencialmente pelos mesmos motivos dos que já foram descritos no ponto 4.3.1.4 para os agrafos e pontos de argamassa.

4.3.2.4 Infiltrações pela caixa de ar

Nesta técnica, onde existe uma caixa-de-ar entre o revestimento pétreo e a fachada, é possível realizar um isolamento térmico e colocar telas asfálticas impermeabilizantes. Estudos demonstram que, com as juntas entre as pedra abertas, a água de chuva pode atingir o paramento da fachada do edifício em casos de chuva e ventos fortes, escorrendo pela lâmina de ar. Como esta é contínua, sendo apenas interrompida pelos gatos metálicos que representam uma superfície muito reduzida, a água que possa escorrer pela lâmina de ar não é retida nem fica acumulada como pode acontecer nos pontos de argamassa na técnica anteriormente descrita. No entanto, mesmo nesses casos esporádicos onde a água possa chegar à fachada, o facto de existir o isolamento térmico e impermeabilização da fachada ajuda a proteger a parede contra infiltrações para o interior do edifício.

As infiltrações de água para a caixa de ar também podem ter origem no topo do revestimento, caso não exista nenhuma protecção ou capeamento que impeça eficazmente a sua entrada.

4.3.2.5 Corrosão dos gatos metálicos

Outro tipo de patologias que podem ocorrer neste método de revestimento de fachadas usando elementos metálicos como suporte é a **corrosão** destes (figura 4.6). No entanto, caso se cumpram as recomendações acima descritas – como a escolha adequada dos suportes realizados em material inoxidável adaptado às condições onde será instalado, a inspeção dos suportes aquando da chegada à obra em busca de corrosão, a colocação de parafusos, suportes e materiais metálicos de materiais compatíveis entre eles para evitar reacções entre os vários tipos de metal – a probabilidade de haver corrosão dos suportes é baixa [22]. Estes podem sempre ser inspeccionados, em caso de dúvidas em relação ao seu estado, pois não se encontram embebidos dentro de pontos de argamassa. No entanto, este género de inspeção é sempre difícil de realizar em boas condições, pois implica a retirada de placas de pedra.



Fig 4.6 – Pormenor de um gato metálico corroído [22]

Em suma, se este revestimento for bem desenhado e executado assegura desempenhos bastante satisfatórios, não havendo patologias crónicas associadas a ele.

4.3.3 Estrutura intermédia de suporte

O revestimento de uma fachada usando uma fixação indirecta com recurso a estrutura intermédia de suporte é uma forma muito adequada de fixação das placas de pedra ao pano de parede. Apresenta inúmeras vantagens mas, se não for convenientemente aplicado, pode contudo dar origem a algumas patologias, tal como as apresentadas abaixo.

4.3.3.1 Fissuração nas placas de pedra

Se forem geradas tensões elevadas nas placas de pedra, podem aparecer fissuras nos elementos pétreos que podem ser explicadas pelo não respeito das juntas entre pedras ou pela má aplicação do sistema de suporte das pedras.

4.3.3.2 Lascagem do material pétreo nas zonas de fixação

Tal como nos outros sistemas de fixação, na técnica de fixação com estrutura intermédia de suporte também há o risco de **lascagem do material pétreo nas zonas de fixação** no topo das pedras. Este tipo de anomalia pode ser provocado por motivos análogos aos que já foram descritos no método dos pontos de argamassa (ver 4.3.1.3). Neste caso, esta anomalia pode também ser devida à incorrecta localização das calhas realizadas nas pedras onde são aplicados os clips de fixação [2].

4.3.3.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra

Tal como nos outros métodos de revestimento, as placas de pedra estão sujeitas à **quebra ou fracturação** essencialmente pelos motivos que já foram descritos no ponto 4.3.1.4 para os agrafos e pontos de argamassa.

4.3.3.4 Infiltrações pela caixa de ar

À semelhança do que pode ocorrer na técnica dos gatos metálicos, também aqui podem existir infiltrações de água pela caixa de ar com as causas e consequências semelhantes às descritas em 4.3.2.4.

4.3.3.5 Corrosão dos elementos metálicos

Neste método de revestimento de fachadas onde existem elementos metálicos pode ocorrer a **corrosão** dos elementos metálicos, por motivos semelhantes aos referidos para os gatos metálicos e descritos em 4.3.2.5.

4.4 Fixação indirecta ao suporte: patologias associadas à fixação mecânica

Num sistema de fixação de pedras com recurso a fixadores mecânicos existem diversos tipos de falhas que podem acontecer quando as pedras são submetidas a ensaios de arrancamento. Apresentam-se de seguida os quatro modos de ruptura mais usuais e as suas causas.

4.4.1 Falha na Expansão

Uma das falhas mais comuns que leva ao desprendimento do fixador mecânico do suporte é a **falha na expansão**. Este tipo de falha ocorre normalmente quando não se aplica força suficiente no aperto do parafuso que faz expandir o fixador. O fixador mecânico sai então da parede quando é aplicada a carga, sem haver ruptura deste nem da parede (figura 4.7). A força de tracção aplicada no fixador foi superior à força de expansão entre o chumbadouro e o material de base. Esta falha, que é devida a um erro na montagem dos fixadores, pode acontecer em suportes de boas características e em fixadores adequados para as cargas consideradas.

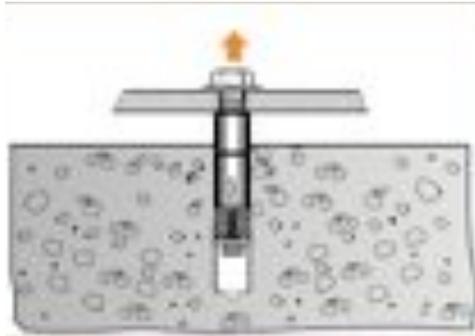


Fig 4.7 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela falha na expansão deste [33]

4.4.2 Falha no suporte

Quando se colocam fixadores num suporte demasiado frágil pode existir uma **falha no suporte**. Este tipo de danos acontece quando a resistência do betão do suporte é inferior às cargas a que este foi sujeito, levando ao arrancamento do fixador juntamente com uma porção do revestimento, geralmente em forma de cone (Figura 4.8). Este cone inicia-se na zona onde o fixador foi instalado, à profundidade máxima de embutimento deste e propaga-se até à superfície do revestimento formando um cone com ângulos que variam normalmente entre os 35 a 45 graus. Este tipo de falha pode ocorrer com fixadores de boa qualidade e adaptados às cargas que lhe serão aplicados e em fixadores instalados de forma correcta.



Fig 4.8 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela falha no suporte onde este foi fixo [33]

4.4.3 Falha do fixador

Outro tipo de falha que pode ocorrer em fixadores mecânicos é a **falha do próprio fixador**. Este tipo de falha caracteriza-se pela ruptura do fixador (figura 4.9), que não seria o adequado para resistir às solicitações que lhe foram impostas. A falha pelo fixador pode ocorrer em suportes de boa qualidade e em fixadores correctamente instalados.



Fig 4.9 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela falha do próprio fixador [33]

4.4.4 Falha na Instalação

Pode ainda ocorrer uma **falha na instalação** de fixações mecânicas que está relacionada com o local onde os fixadores foram instalados. Este tipo de ruptura caracteriza-se pela abertura de fendas ou quebra do suporte (figura 4.10), devido às insuficientes dimensões deste em largura ou comprimento. Neste caso, a expansão do fixador provoca a abertura de fendas no suporte, que diminuem a tensão que pode ser aplicada nos fixadores. Este tipo de falhas também pode acontecer quando se instalam fixações demasiado próximas das bordas do suporte.

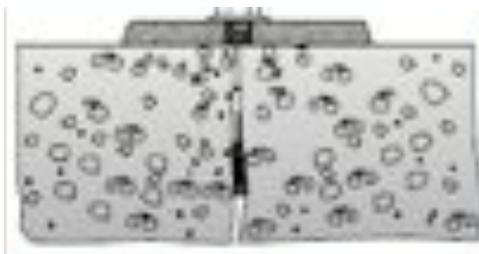


Fig 4.10 - Esquema que ilustra o desprendimento do fixador metálico provocado pela escolha errada da localização para o fixador [33]

4.4.5 Cuidados gerais para a aplicação de fixadores mecânicos

A aplicação de fixadores mecânicos em suportes requer pois alguns cuidados especiais. É necessário verificar se o suporte tem a resistência suficiente para as cargas a aplicar, ou seja o peso das placas pétreas. É também importante seguir todas as instruções de aplicação dos fixadores fornecidas pelo

fabricante destes, nomeadamente as que dizem respeito ao binário mínimo de aperto do parafuso de expansão e a carga máxima aplicável nos fixadores.

Outro aspecto que não pode ser descurado tem a ver com o local de posicionamento dos fixadores no suporte. É usual aconselhar que a distância mínima entre um fixador mecânico e a borda das paredes de betão seja no mínimo igual a 1,5 vezes à profundidade a que este foi embutido. No que diz respeito ao distanciamento entre fixadores deve deixar-se uma distância mínima entre eles de 3 vezes a profundidade de embutimento. Deste modo, garante-se que os cones de arrancamento nunca se intersectam entre eles nem intersectam a borda do revestimento, como se pode ver na figura 4.11 [33].

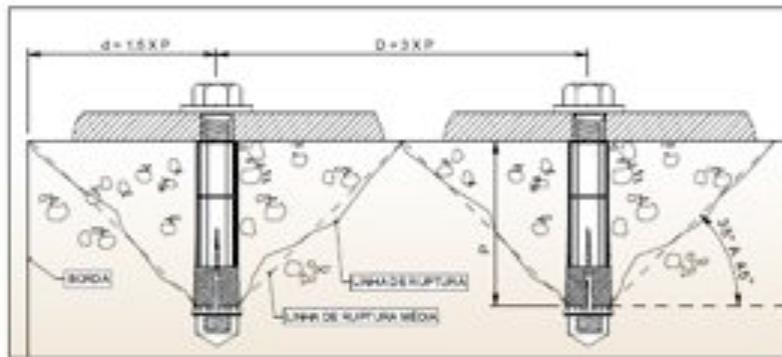


Fig 4.11 - Esquema que justifica a distancia mínima necessária entre fixadores com a ilustração dos cones de arrancamento de dois fixadores justapostos [33]

Para realizar a fixação dos gatos metálicos ou da estrutura de suporte intermédia com recurso a fixadores mecânicos é necessário começar por marcar a localização dos fixadores respeitando as regras acima mencionadas, nomeadamente as que dizem respeito à distância entre fixadores e às distâncias entre os fixadores e as bordas da parede. Depois desta marcação procede-se à realização dos furos. Para tal pode-se usar um berbequim com uma broca com a dimensão indicada pela marca de fixadores a usar. A profundidade mínima dos furos também é indicada e terá de ser respeitada. Uma vez realizados os furos, é necessário limpá-los cuidadosamente e introduzir o fixador totalmente no furo. O parafuso do fixador deverá ser de seguida apertado respeitando as indicações do fabricante nomeadamente no que diz respeito ao número de voltas de aperto ou à força mínima necessária para expandir o fixador garantindo assim uma correcta fixação deste.

Pode ainda referir-se que, para aumentar a durabilidade dos revestimentos em pedra a realização de manutenção preventiva nas fachadas do edifício deve sempre ser prevista. Este tipo de acções também serve para detectar anomalias ou sinais de degradação que, se identificados precocemente, facilitam as acções correctivas. Esta manutenção consiste em lavagens com jactos de água, inspecção para detecção de fendas ou outras anomalias nas pedras ou verificação do estado dos materiais de preenchimento das juntas. [2]

5 Reparação

Depois de apresentadas as patologias mais frequentes associadas a cada tipo de método de revestimento de fachadas, importa ver como reparar cada uma dessas patologias. Apresentam-se de seguida, de forma simplificada e sem descrição exaustiva os passos a dar para reparar as principais patologias.

5.1 Fixação directa ao suporte

5.1.1 Destacamento ou descolamento de pedras

A reparação do descolamento das pedras passa pela total remoção dos elementos pétreos e dos produtos de colagem nas zonas danificadas e posterior reaplicação em conformidade com as princípios construtivos acima descritas. O suporte deve ser limpo de todos os restos de produtos de assentamento, e todas as pedras que apresentem risco de descolamento ou fissuras devem ser retiradas. As eventuais infiltrações de água deverão ser solucionadas [41].

Caso se chegue à conclusão que o suporte não tem resistência suficiente para este tipo de fixação directa, será necessário proceder ao seu reforço ou mudar o método de fixação de pedras recorrendo a gatos metálicos de suporte, por exemplo.

Em alternativa pode-se equacionar a realização de uma fixação mecânica complementar das placas. Esta fixação pode ser realizada através de buchas químicas, associadas a camisas metálicas e pernos roscados em aço inox ou através de buchas convencionais e parafusos em material inoxidável. Dependendo da dimensão das placas de pedra pode-se optar pela realização de 2 ou 4 furos por placa, devendo as cabeças dos parafusos ser disfarçadas com pó de pedra [41].

5.1.2 Fracturação ou fissuração das placas de pedra

A reparação das fissuras nas pedras pode ser realizada optando pela remoção das pedras e sua reaplicação em conformidade com as princípios construtivos acima descritas ou pelo preenchimento dessas fissuras com materiais apropriados. Esses materiais (silicones ou mástiques para preenchimento de juntas em placas de pedras) devem ser flexíveis, impermeáveis e ser aplicados de acordo com as instruções fornecidas pelo seu fabricante.

Pode ainda prever-se a realização de uma fixação mecânica complementar das placas, realizada através de buchas químicas, associadas a camisas metálicas e pernos roscados em aço inox ou através de buchas convencionais e parafusos em material inoxidável caso haja dúvidas quanto à resistência da fixação da pedra ao suporte. De seguida, apresenta-se um pormenor duma fachada realizada com fixação directa, cuja fixação das pedras foi reforçada com dois parafusos metálicos por pedra (a localização destes foi marcada a vermelho na figura 5.1).



Fig 5.1 - Pormenor da fixação mecânica realizada com parafusos metálicos

5.1.3 Eflorescências

As reparações para este tipo de anomalias passam pela remoção das pedras mais afectadas e pela aplicação de novas. É importante detectar as causas das eflorescências e solucioná-las para que o problema não reapareça. As pedras que não se apresentem demasiado deterioradas podem ser lavadas com jactos de água, escovas de cerdas macias e produtos adequados e próprios para pedras.

Caso as eflorescências sejam mais visível em zonas perto do solo deve realizar-se um corte hídrico nas zonas em contacto com o solo ou realizar trabalhos para drenar o solo nessas zonas [14].

Deve-se verificar a estanquidade das juntas entre pedras, renovar as que estejam em mau estado e impermeabilizar os topos das fachadas para evitar infiltrações de água [13].

5.1.4 Manchas nos elementos pétreos

A solução para a reparação das manchas nas placas de pedra depende da origem das manchas que existam nas pedras.

Se as manchas forem causadas pela penetração de substâncias a partir do suporte, a solução costuma passar pela substituição das placas de pedra. Na maior parte das vezes é impossível retirar as manchas provenientes do transporte de substâncias que estão dissolvidas na água presente nos produtos de colagem [39]. Antes de aplicar novos revestimentos deve-se verificar que o capeamento superior da parede está bem impermeabilizado, para evitar novas infiltrações [40].

Se as manchas forem causadas pela penetração de substâncias a partir da superfície devem ser limpas com jacto de água, escovando se necessário com uma escova, que não deve ser demasiado agressiva para não danificar as pedras.

Caso as manchas tenham origem na descoloração de substâncias no interior da própria pedra, a única solução passa pela substituição das pedras danificadas.

5.1.5 Material de preenchimento das juntas danificado

A reparação do material das juntas entre pedras danificado requer a sua total remoção e aplicação de novo. Para remover o material de preenchimento que se apresente fissurado ou em mau estado podem-se usar ferramentas metálicas com o cuidado exigido para não danificar as pedras na remoção do material. O novo produto escolhido para o preenchimento deve ser aplicado de acordo com as instruções do fabricante para garantir uma boa impermeabilização das juntas.

5.2 Fixação indirecta ao suporte

5.2.1 Agrafos e pontos de argamassa

5.2.1.1 Fissuração nas placas de pedra

Quando existe fissuração nas placas de pedra, devem ser substituídas as pedras danificadas, tendo o cuidado de aplicar as novas pedras de acordo com as boas práticas descritas, respeitando o tamanho das juntas entre placas.

5.2.1.2 Manchas localizadas nas zonas dos pontos de argamassa

Este tipo de mancha é habitualmente difícil de retirar, pelo que a solução passa pela limpeza das pedras ou substituição destas caso a limpeza com jacto de água e produtos próprios não retire as manchas. Após a limpeza ou a substituição das placas de acordo com as práticas descritas acima, deve garantir-se que a caixa de ar está protegida da entrada de água e que possui ventilação suficiente [22].

5.2.1.3 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação

Quando as pedras apresentam **lascagem nas zonas dos orifícios de fixação** no topo das placas é necessário substituir as pedras danificadas. As novas pedras devem ser bem apuradas com as já existentes e terem juntas entre pedras de tamanho suficiente. Para a realização dos orifícios de fixação dos agrafos metálicos deve-se respeitar a distância mínima entre a face exterior das pedras e o eixo dos furos realizados [2].

5.2.1.4 Quebra ou fracturação de placas de pedra

Se ocorrer a quebra das placas devido a choques provocados pela circulação de pessoas ou de máquinas, é recomendável substituir as zonas mais baixas de revestimento por um revestimento colado utilizando um sistema de fixação directa que resiste melhor aos choques.

Se a quebra das pedras não puder ser associada a danos causados por pessoas ou máquinas, então a causa mais provável da sua fracturação é uma tensão excessiva que nelas foi aplicada. Nesse caso a reparação passa pela substituição das pedras danificadas e verificação do estado de todo o revestimento, incluindo os suportes e juntas entre pedras para procurar as causas destas anomalias.

5.2.1.5 Infiltrações pela caixa de ar

Se se verificarem infiltrações pela caixa de ar, deve-se verificar que o topo da caixa de ar está devidamente isolado contra a entrada de água. Caso seja necessário, deve-se proceder às correcções necessárias realizando um capeamento impermeável que afaste a água da caixa de ar. Se for necessário, as juntas entre pedras também poderão ser preenchidas com materiais elásticos.

5.2.1.6 Corrosão dos agrafos metálicos

Se forem detectados elementos metálicos corroídos, é necessário proceder à substituição dos suportes danificados por outros. Os novos elementos devem ser de aço inoxidável com classe de resistência A2 ou A4 (caso estejam em ambientes agressivos). Torna-se também necessário verificar que todos os elementos metálicos são compatíveis entre eles, para evitar a corrosão bimetálica que ocorre entre metais com diferentes propriedades [22].

5.2.2 Gatos metálicos

5.2.2.1 Fissuração nas placas de pedra

Quando existe fissuração nas placas de pedra devem-se seguir os procedimentos já descritos em 5.2.1.1.

5.2.2.2 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios de fixação

Se as pedras apresentarem sinais de **lascagem nas zonas dos orifícios de fixação**, recomenda-se que sejam seguidos os procedimentos de reparação explicados para o método dos agrafos e pontos de argamassa em 5.2.1.3.

5.2.2.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra

Caso tenha ocorrido a quebra ou fracturação de placas de pedra, sugere-se que sejam seguidos os procedimentos de reparação apresentados no método anterior em 5.2.1.4

5.2.2.4 Infiltrações pela caixa de ar

No caso de serem detectadas infiltrações pela caixa de ar, devem realizar-se os procedimentos correctivos descritos para o método anterior em 5.2.1.5.

5.2.2.5 Corrosão dos gatos metálicos

Para o caso de haver elementos metálicos corroídos, devem ser adoptados os procedimento já descritos em 5.2.1.6.

5.2.3 Suportes com estrutura intermédia

5.2.3.1 Fissuração nas placas de pedra

Para o caso de se verificar fissuração nas placas de pedra, recomenda-se que sejam seguidos os procedimentos já descritos em 5.2.1.1.

5.2.3.2 Lascagem do material pétreo nas zonas dos orifícios ou das calhas de fixação

Se forem detectadas **lascagem nas zonas dos orifícios de fixação**, os procedimentos de reparação a seguir são os já explicados para o método dos agrafos e pontos de argamassa (ver 5.2.1.3).

5.2.3.3 Quebra ou fracturação de placas de pedra

Caso tenha ocorrido a quebra ou fracturação de placas de pedra, torna-se necessário seguir os procedimentos de reparação já explicados no método dos agrafos e pontos de argamassa em 5.2.1.4

5.2.3.4 Infiltrações pela caixa de ar

Para o caso de serem detectadas infiltrações pela caixa de ar, devem realizar-se os procedimentos para a reparação desta anomalia descritos para o método dos agrafos e pontos de argamassa em 5.2.1.5.

5.2.3.5 Corrosão da estrutura de suporte intermédia

Se forem detectados elementos metálicos corroídos, devem ser seguidos os procedimentos tal como já descritos em 5.2.1.6.

5.2.4 Fixação mecânica

Quando existem falhas nos sistemas de fixação mecânica, tais como falhas na expansão, falha do próprio fixador ou falhas na instalação destes, devem-se instalar novos fixadores, com características apropriadas à carga que irão suportar e ao suporte onde serão aplicados. Esta instalação deve ser feita de acordo com as instruções do fabricante, respeitando as forças de aperto e a distâncias entre os fixadores.

Quando o fixador falha devido à quebra do suporte, temos de instalar os fixadores noutra local onde o suporte apresente melhores características resistentes, ou optar pelo reforço deste. Em alternativa, podemos optar por outro método de suporte das pedras, tais como uma estrutura de suporte intermédia que reparta melhor as cargas no suporte.

6 Controlo de qualidade

Como já foi abordado na descrição dos métodos construtivos dos diferentes tipos de fixações de pedras, existem vários aspectos que devem ser considerados quando se executam revestimentos de fachadas para assegurar um resultado final de qualidade. Para simplificar e sistematizar as verificações, torna-se necessário implementar um Plano de Controlo de Qualidade na obra. Este visa garantir que o revestimento foi aplicado segundo os procedimentos correctos, que cumpre o seu papel com eficácia, que possui as condições de segurança exigíveis e que garante durabilidade compatível com o tempo de vida previsto para o revestimento.

Este plano deve abranger as diferentes fases da construção, começando pelo projecto, passando pela aplicação do revestimento propriamente dito e finalizando nos controlos de qualidade finais. O plano não visa, no entanto, corrigir ou detectar anomalias que possam ter ocorrido nas fases de dimensionamento do revestimento, relacionados por exemplo com a resistência das fixações propostas .

É sempre importante ler e respeitar os procedimentos descritos nos capítulos anteriores, bem como todas as instruções fornecidas pelos fabricantes dos produtos aplicados. O seguimento das verificações propostas no plano serve apenas como despistagem de alguns erros que possam ocorrer durante a realização de revestimentos. O Plano de Controlo de Qualidade não pode funcionar como um procedimento, visto que não possui informações nem instruções sobre os passos a seguir para a realização do trabalho.

Referem-se de seguida os principais aspectos que devem ser verificados nas diferentes fases de construção.

Apresentam-se inicialmente as verificações gerais que podem ser realizadas para assegurar que estão reunidas as condições para que o trabalho de fixação das pedras possa ter início, qualquer que seja o método de fixação escolhido (capítulo 6.1). De seguida, referem-se as verificações específicas a cada um dos possíveis métodos de fixação (capítulos 6.2 e 6.3). Finalmente, é feita referência às últimas verificações que devem ter lugar para garantir a correcta finalização dos trabalho qualquer que tenha sido o método adoptado (capítulo 6.4). Em anexo incluem-se as Fichas de verificação e controlo elaboradas de acordo com este plano.

6.1 - Verificações gerais para todos os tipos de métodos de fixação

6.1.1 Alguns aspectos a verificar antes do inicio da obra

Antes de dar início à obra, é necessário proceder a algumas verificações, nomeadamente assegurar que todo o trabalho está devidamente planeado e documentado e que se cumprem todas as regras relativas à segurança dos trabalhadores.

a) Verificar que existe um projecto de revestimento de fachadas completo

Antes do início da obra é importante verificar que o projecto de revestimento de fachadas está completo, com a descrição completa dos métodos de revestimento adoptados, o tipo de material necessário e suas quantidades, as dimensões das pedras a encomendar e a localização das fixações e das juntas entre pedras.

Nesta altura deve também confirmar-se que a localização das fixações das pedras, no caso dos métodos de fixação indirectos, não interfere com as armaduras principais da estrutura do edifício.

b) Verificar acessibilidade dos trabalhadores e segurança dos andaimes

Os aspectos ligados às condições de trabalho e de segurança dos trabalhadores têm também de ser considerados antes do início da obra.

Para se efectuar um trabalho com qualidade é necessário que os trabalhadores tenham um acesso seguro e desimpedido ao exterior das fachadas. Para os trabalhos de revestimento das fachadas, é usual usarem-se os andaimes que foram instalados para a realização da obra, dos panos de alvenaria e das fachadas em betão. Estes devem estar solidamente ligados à estrutura do edifício, terem dimensões adequadas e terem guarda corpos de segurança. É importante referir que o transporte e a colocação das pedras nas fachadas é um processo delicado devido à grande dimensão e peso elevado destas. Por essa razão, por vezes, um andaime que serviu para a realização das alvenarias tem de ser reforçado ou aumentado para permitir o transporte e a colocação das pedras em segurança.

c) Verificar a existência e uso dos equipamentos de protecção

Os equipamentos de protecção individuais não podem ser descurados nesta fase dos trabalhos, nomeadamente os arneses de segurança quando os trabalhos decorrem em zonas sem protecções. Os capacetes e o calçado de segurança também têm de ser sempre usado já que existe sempre um risco acrescido quando se trabalham com placas de pedra pesadas.

d) Verificar que os materiais necessários foram encomendados nas quantidades adequadas para as fases da obra em curso

Assegurar a existência de todos os materiais necessários (placas de pedra, acessórios de fixação, produtos de colagem) em quantidade suficiente para as fases da obra que se vão realizar deve também ser uma preocupação prévia ao início dos trabalhos. Deve ser tido em conta, nas quantidades encomendadas, que existe sempre algum desperdício de materiais (cortes, quebras na instalação, etc.). Esta verificação é particularmente importante para eliminar o risco de o trabalho ficar interrompido ou

de ser necessário encomendar mais placas de pedra que, mesmo sendo da mesma qualidade, poderão ser substancialmente diferentes das já aplicadas.

6.1.2 Alguns aspectos a verificar aquando da chegada dos materiais à obra

Antes do início dos trabalhos de colocação dos revestimentos nas fachadas, é imprescindível fazer um controlo das suas características e assegurar que estão em conformidade com o especificado no caderno de encargos.

6.1.2.1 Materiais pétreos

a) Verificar que as placas de pedra são as encomendadas

Quando os materiais chegam à obra, é necessário verificar atentamente se o material pétreo é o indicado nos mapas de acabamentos e cadernos de encargos e, eventualmente, nos planos de execução especiais, caso existam. Deve-se assegurar que o tipo de pedra entregue, bem como o tipo de acabamento, são os que foram encomendados. Devem ser rejeitados todos os que não estão em conformidade com os especificados para a obra em causa.

b) Verificar que os materiais entregues têm a marcação CE e a denominação da pedra

Todos os materiais recebidos e aplicados em obra devem ter a marcação CE, que significa que os produtos de construção foram objecto de uma declaração de conformidade CE emitida pelo seu fabricante e que estão de acordo com as especificações técnicas necessárias. Todos os produtos destinados a ser incorporados ou aplicados, de forma permanente, nos empreendimentos de construção estão abrangidos pela marcação CE. A norma NP EN 1469-2006 requer ainda que cada remessa de pedras tenha a denominação das pedras de acordo com a EN 12440 e informação sobre a massa das placas e as suas dimensões [39].

c) Verificar que as pedras têm as dimensões correctas de acordo com as tolerâncias admitidas

As pedras devem também ser medidas à chegada à obra e os valores obtidos comparados com os que constam nos cadernos de encargos e mapas de revestimento. São aceites algumas tolerâncias dimensionais face ao encomendado, que podem ser consultadas nos quadros abaixo apresentados, sobre a espessura, dimensões laterais, esquadrias, planeza, localização e dimensão dos orifícios. As pedras que não cumpram as medidas estipuladas devem ser devolvidas. Quando as pedras vêm marcadas de acordo com os guias de encomenda (numeradas ou embaladas em lotes) é mais fácil proceder a estas verificações.

Devido à complexidade dos processos de corte e preparação, bem como às características naturais das pedras, são aceites algumas tolerâncias dimensionais no que diz respeito às medidas presentes no projecto de revestimento. No entanto, essas tolerâncias estão todas regulamentadas na norma EN 1469-2004 e descritas no Manual da Pedra Natural para a Arquitectura. Para cada lote de pedras, é necessário inspeccionar uma amostra de 5% de cada lote de pedras.

Quanto à **espessura** das peças, é necessário fazer a distinção entre 3 tipos de espessura nominal, visto que cada uma terá os seus critérios de tolerância (ver quadro 6.1).

Espessura nominal	Tolerâncias
12 mm < espessura < 30 mm	+/- 10%
30 mm < espessura < 80 mm	+/- 3 mm
espessura > 80mm	+/- 5 mm

Quadro 6.1: Tolerâncias permitidas relativamente à espessura das placas de pedra

Assim por exemplo, uma pedra com espessura nominal de 20 mm pode ser aceite se a sua espessura estiver compreendida entre 18 mm e 22 mm, uma pedra de 30 mm se estiver entre 27 mm e 33 mm e uma pedra de 40 mm se a sua espessura estiver compreendida entre 37 mm e 43 mm.

No que diz respeito às **dimensões laterais** das peças, distingue-se entre 2 tipos de espessura nominal e dois tipos de dimensões das placas, visto que, para cada uma destas combinações, haverá diferentes critérios de tolerância, tal como apresentado no quadro 6.2.

Comprimento e Largura	Tolerâncias	
	Dimensões inferiores a 600 mm	Dimensões superiores a 600 mm
Espessura das placas inferior a 50 mm	+/- 1 mm	+/- 1,5 mm
Espessura das placas superior a 50 mm	+/- 2 mm	+/- 3 mm

Quadro 6.2: Tolerâncias permitidas relativamente às dimensões laterais das placas de pedra

Como exemplo, pode-se considerar que para uma placa de pedra com 400 mm X 500 mm e com 30 mm de espessura as suas dimensões laterais podem variar entre 399 mm X 499 mm e 401 mm X 501 mm. Se

se considerar uma placa com 400 mm X 700 mm pode-se admitir uma tolerância que varia entre 398,5 mm X 698,5 mm e 401,5 mm X 701,5 mm.

Quando se trata de peças com formas irregulares, como por exemplo trapezoidais, devem ser inspeccionadas as 4 medidas da peça.

As **esquadrias das placas** de pedra devem também ser verificadas de acordo com as tolerâncias previstas nas normas, e definidas em função da espessura e dimensões da placa, tal como no caso das dimensões laterais das placas (ver quadro 6.3).

Esquadria das placas de pedra	Tolerâncias	
	Dimensões inferiores a 600 mm	Dimensões superiores a 600 mm
Espessura das placas inferior a 50 mm	+/- 1 mm	+/- 1,5 mm
Espessura das placas superior a 50 mm	+/- 2 mm	+/- 3 mm

Quadro 6.3: Tolerâncias permitidas relativamente à esquadria das placas de pedra

As normas também definem critérios no que diz respeito à **planeza** das placas de pedra cortadas: a tolerância não pode exceder 0,2 % do comprimento das peças e nunca pode ser superior a 3 mm. Por exemplo, numa peça com comprimento de 300 mm, os erros de planeza não podem ser superiores a 0,6 mm.

Estes valores podem ser agrupados num quadro (quadro 6.4) para facilitar a verificação em obra, sem ser necessário fazer cálculos.

	Maior dimensão da placa	Tolerância máxima
Planeza	>= 500 mm e < 600 mm	1 mm
	>= 600 mm e < 800 mm	1,2 mm
	>= 800 mm e < 1000 mm	1,6 mm
	>= 1000 mm e < 1200 mm	2 mm
	>= 1200 mm e < 1400 mm	2,4 mm
	>= 1400 mm e < 1500 mm	2,8 mm
	>= 1500 mm	3 mm

Quadro 6.4: Tolerâncias permitidas relativamente à planeza das placas de pedra

A **localização e dimensão dos orifícios** de ancoragem para colocar os pinos nas pedras, para fixações indirectas ao suporte têm também as suas tolerâncias máximas.

Para a localização dos orifícios de ancoragem ao longo do comprimento e da largura da placa aceita-se uma tolerância de 2 mm. Se os orifícios forem nas faces laterais das placas, a tolerância passa a ser de apenas 1mm, como se ilustra na figura 6.1.

No que diz respeito à dimensão dos furos, estes podem ser 3 mm mais fundos ou 1 mm menos fundos do que as medidas estipuladas nos cadernos de encargos. Aceita-se também que o seu diâmetro seja 1mm maior ou 0,5 mm menor do que o valor estipulado.

Estes valores estão recapitulados no quadro 6.5:

Tolerâncias para os furos das ancoragens	
Medidas no comprimento ou na largura	+/- 2 mm
Medidas na espessura	+/- 1 mm
Profundidade do furo	+ 3 mm, - 1 mm
Diâmetro do furo	+ 1 mm, - 0,5 mm

Quadro 6.5: Tolerâncias permitidas relativamente aos furos das ancoragens nas placas de pedra

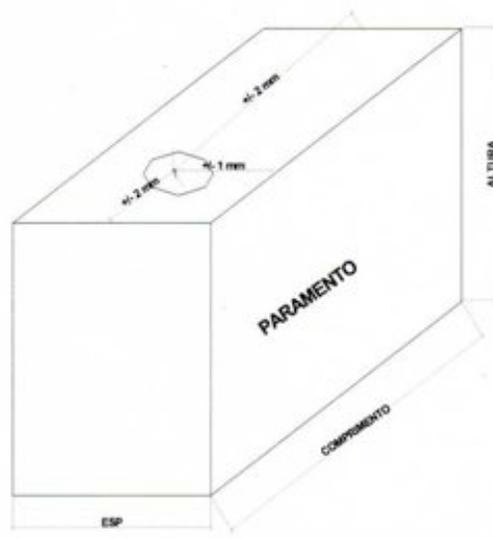


Fig 6.1 – Esquema das medidas e tolerâncias permitidas nos orifícios de fixação das pedras

d) Verificar que os materiais estão em boas condições

Os materiais que não estejam em boas condições, ou seja, que apresentem empenamentos, saliências, fendas ou cavidades, ou variações de tonalidade de cor não características da natureza da pedra devem

ser rejeitados. As variações de cor podem ser originadas por manchas de produtos ocorridas durante o transporte ou tratamento da pedra, manchas de ferrugem, etc. Para qualquer tipo de pedra, não deverão ainda ser aceites aquelas que tenham defeitos dissimulados ou tapados com betume.

Todos os materiais que não cumpram os requisitos devem ser retirados da obra o mais depressa possível. Os materiais que esperam colocação na obra devem ser armazenados em local coberto ou zonas pouco húmidas, em locais próprios para evitar danos. Sempre que os materiais venham em embalagens ou embalados durante o transporte, deve-se evitar retirá-los das embalagens, pois estas fornecem uma protecção extra durante o armazenamento em obra [16].

Existem ainda algumas particularidades para cada tipo de pedra que devem ser respeitadas aquando da recepção destas, como é o caso dos granitos e dos mármore.

e) Verificações a efectuar quando se aplicam granitos

Quando a obra envolve a aplicação de granitos, não deverão ser aceites pedras que tenham os cristais de feldspato demasiado grosso nem mica em grande quantidade [16].

f) Verificações a efectuar quando se aplicam mármore

Quando a obra envolve a utilização de mármore, estes não devem apresentar defeitos, fendas ou cavidades e devem apresentar uma coloração e polimento perfeitos nos paramentos que ficarão à vista [16].

6.1.2.2 Materiais de fixação

a) Verificar que os materiais de fixação são os encomendados

As colas e materiais de colagem devem também ser verificados de modo a garantir que são os que estão referenciados no projecto.

Os materiais usados para as fixações indirectas devem também ser cuidadosamente analisados para assegurar que estão em conformidade com a encomenda feita, nomeadamente no que diz respeito aos tipos de aço, marcas e modelos dos fixadores [23].

b) Verificar que os materiais de fixação estão em bom estado

As embalagens das colas devem vir fechadas e seladas, dentro das embalagens de origem. A data de validade destas deve também ser verificada

No caso de fixações indirectas deve proceder-se a uma análise visual às soldaduras dos gatos e das estruturas de suporte intermédia para verificar que estas apresentam um aspecto homogéneo e sem porosidade. É ainda importante verificar que nenhuma das peças metálicas apresenta sinais de corrosão especialmente nas zonas de corte e de soldadura [23].

6.1.3 Alguns aspectos a verificar nas fachadas onde as placas de pedra vão ser aplicadas

Antes de iniciar a aplicação das pedras nas fachadas, é essencial verificar que o suporte se encontra com as condições exigíveis para receber o revestimento.

a) Os suportes estão limpos e prontos a receber os revestimentos

Algumas características a verificar nas fachadas ou zonas onde os materiais pétreos vão ser assentes são comuns a todo o tipo de métodos de fixação da pedra, assumindo no entanto uma maior relevância para os métodos de fixação directa. As superfícies devem encontrar-se limpas de gorduras e partículas em suspensão (poeiras). Devem merecer especial atenção as superfícies que foram descofradas, pois podem existir vestígios de óleos descofrantes. Nesse caso as superfícies devem ser cuidadosamente limpas com produtos desengordurantes próprios para remoção dos óleos e outros contaminantes.

b) Verificar as condições das fachadas no que diz respeito à planeza

Tal como existem tolerâncias dimensionais para o tamanho das pedras, também existem algumas tolerâncias máximas relativas à planeza dos suportes que podem ser aceites aquando do revestimento das fachadas. Para a aplicação de um revestimento é necessário verificar que o suporte se encontra sem desvios significativos de planeza e sem desníveis ou reentrâncias que possam dificultar a colocação das pedras e serem locais de infiltrações de água. Além disso, não deve haver elementos soltos ou que se possam destacar.

c) Assegurar que os locais onde são realizadas operações que produzem poeiras estão afastados da zona onde se está a instalar o revestimento

Deve ser evitado o excesso de pó junto às paredes onde se vai colocar o revestimento. Este problema pode ser grave caso se decidam instalar as máquinas de corte ou furação das pedras perto das zonas onde se vai aplicar o revestimento pétreo na fachada. É necessário reservar sempre uma área afastada

para se proceder a eventuais ajustes nas pedras, furos nas pedras e cortes de juntas com rebarbadoras ou outras máquinas. Caso seja impossível distanciar a zona de trabalho nas pedras da zona de instalação das pedras, esta última deve ser protegida até este tipo de trabalho estar terminado.

Deve-se proceder da mesma forma, protegendo as superfícies já acabadas, para que as juntas entre pedras não fiquem manchadas com pó, devido à facilidade deste para contaminar as argamassas frescas.

6.1.4 Alguns aspectos a verificar durante a execução da obra

Tal como existem aspectos importantes a verificar antes de se iniciar a aplicação do revestimento, também durante os trabalhos é necessário verificar que os procedimentos correctos são cumpridos.

a) Garantir que os trabalhos são fiscalizados

Uma adequada fiscalização é indispensável para garantir que o projecto está a ser respeitado e a as regras de aplicação dos sistemas de fixação estão a ser cumpridas. Para que tal aconteça, os supervisores têm de estar presentes em obra e têm de conhecer o projecto de revestimentos, bem como todas as boas práticas para a realização de um revestimento com qualidade.

b) Garantir que se usam produtos de colagem adequados às pedras que vão ser usadas

Os produtos de colagem usados para colocar as pedras nos métodos de fixação directa ou de preenchimento dos orifícios dos pinos nas pedras, em métodos de fixação indirecta, devem ser escolhidos de modo a não manchar as pedras. Em pedras naturais mais sensíveis ou muito claras devem-se usar adesivos brancos de secagem e presa rápidas (fast-drying e fast-setting)

Às verificações gerais apresentadas, há que acrescentar as verificações específicas para cada método de fixação escolhido e que de seguida se apresentam.

6.2 - Fixação directa: Verificações específicas

a) O tempo de secagem do cimento do suporte antes de aplicar o revestimento, foi respeitado

Para evitar retracções e manchas nos elementos pétreos, deve-se respeitar um período de cura do betão antes de colocar o revestimento de cerca de 2 meses para alturas inferiores a 2,5 metros e de cerca de 3 meses para alturas superiores quando o suporte é uma parede de betão. Quando se trata de fazer a colagem sobre uma parede de alvenaria, o tempo de espera para secagem é de 3 semanas.

b) A planeza do suporte é adequada para aplicar um revestimento por fixação directa

Em alvenaria rebocada ou betão, às condições da fachada acima descritas, acresce ainda a exigência de uma planeza geral com desvios máximos de 5 mm avaliados com uma régua de 2 metros e uma planeza localizada com desvios máximos de 2 mm avaliados com uma régua de 0,20 metros.

c) O suporte e o tardo das placas de pedra têm rugosidade adequada

Uma certa rugosidade do suporte e do tardo das placas de pedra aumenta a aderência mecânica das colas. Deste modo estes não devem estar demasiado lisos mas também não demasiado rugosos ao ponto de não se poderem usar materiais de assentamento em camada fina.

d) Garantir que uma placa de pedra é colada apenas a um tipo de suporte

Uma placa de pedra não pode ficar colada a dois suportes diferentes, que podem ter comportamentos diferentes, causando esforços elevados na placa de pedra. É importante portanto garantir que todas as juntas de dilatação ou mudanças de suporte são acompanhadas por uma junta no revestimento de pedra.

e) As indicações sobre o estado do suporte e das pedras fornecidos pelo fabricante das colas foram cumpridas

Para a aplicação de alguns materiais de assentamento é requerido um suporte seco (geralmente as colas), para outros aconselha-se que se molhem as superfícies a colar (geralmente as argamassas). É importante verificar as instruções do fabricante antes de iniciar o processo de aplicação e cumprir as suas recomendações.

f) As condições atmosféricas são compatíveis com o trabalho a efectuar

Este tipo de revestimento não deve ser aplicado em condições atmosféricas extremas, quando a temperatura for demasiado elevada (superior a 30°C), com níveis de humidades muito altos, com ventos muito fortes, sobre a incidência directa de raios solares ou de água, com temperaturas demasiado baixas (inferior a 5°C) ou quando existe gelo no suporte.

g) As indicações sobre o modo de preparação e tempo de abertura dos materiais de colagem fornecidos pelo fabricante são cumpridos

As instruções fornecidas pelo fabricante para a preparação dos produtos de assentamento, nomeadamente no que diz respeito às dosagens e tempos e velocidade de mistura, devem sempre ser cumpridas.

Durante a aplicação, não se deve também colocar material de assentamento numa zona demasiado extensa de modo a cumprir os tempos de abertura e trabalhabilidade das colas fornecidos pelo fabricantes.

h) Verificar que os cordões de cola são esmagados aquando da aplicação da pedras

Para controlar regularmente a qualidade da colagem, retira-se uma placa de pedra acabada de assentar e verifica-se o seu tardo. Admite-se como resultado satisfatório uma área mínima de cordões completamente esmagados de cerca de 85% da superfície total da placa.

i) Garantir que são deixadas juntas de tamanho adequado entre as pedras

As juntas entre pedras têm de ter uma espessura mínima de 4 mm. Devem ser respeitadas as juntas em zonas de singularidades, de mudança de material de revestimento ou nas juntas de dilatação do edifício.

Em zonas de grandes áreas revestidas onde não se tenham considerado a existência de juntas de dilatação ou de juntas entre materiais, é necessário verificar a existência de juntas horizontais de fraccionamento espaçadas de 6 em 6 metros e juntas verticais de fraccionamento de 10 e 10.

j) Respeitar os tempos de preenchimento das juntas entre pedras

Se as juntas entre as pedras forem preenchidas, esta operação apenas pode ser realizada 48 horas depois de se ter aplicado o revestimento.

l) Verificar que não existem espaços vazios entre o revestimento e o suporte

esta verificação pode fazer-se de uma forma muito simples, nas pedras batendo com um martelo de borracha para ouvir o som da pancada. Se esta não soar a oco, presume-se que não existem espaços vazios entre o suporte e o revestimento, o que indica que este foi bem realizado.

6.3 - Fixação indirecta: Verificações específicas

a) Verificar a compatibilidade entre o projecto de revestimento e os projectos de outras especialidade

Esta verificação é indispensável para garantir que não se vão realizar os furos para os chumbadouros ou para as fixações mecânicas em zonas onde passem tubos ou armaduras principais.

b) Garantir que as placas de pedras são fixas apenas a um tipo de suporte

Cada placa de pedra não pode ficar fixa a dois suportes diferentes, que podem ter comportamentos diferentes, causando esforços elevados na placa de pedra. Todos os agrafos e pontos de argamassa ou gatos numa pedra deverão, pois, ser fixos a apenas um suporte do mesmo material e sem juntas de dilatação na zona onde a pedra é colocada.

c) Os furos dos chumbadouros foram feitos correctamente

Em zonas correntes, os furos realizados para os chumbadouros devem ser perpendiculares à fachada. Devem-se respeitar as dimensões fornecidas pelos fabricantes dos materiais de fixação, não devendo, no entanto, ser demasiado grandes para não constituírem zonas de entrada de água e um ponte térmica.

Antes de serem preenchidos com argamassa, deve-se confirmar que foram limpos e humedecidos com água para garantir uma aderência perfeita da argamassa ao suporte.

d) As pedras estão devidamente niveladas

Deve-se verificar que as primeiras fiadas de pedra estão devidamente niveladas na horizontal. Em caso de necessidade, deve ser feito um escoramento com tábuas ou andaimes para garantir a segurança destas enquanto os chumbadouros inferiores não sequecem.

6.3.1 Agrafos e pontos de Argamassa

a) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado

Quanto ao tamanho dos furos dos chumbadouros, deve-se verificar que estes têm, pelo menos, 60mm de profundidade e um diâmetro mínimo de 40 mm.

b) Os furos nas placas de pedra têm o tamanho e localização adequados

Deve-se assegurar que os furos nas placas de pedra cumprem os requisitos quanto ao seu tamanho e localização. O eixo dos furos nas placas deve coincidir com o eixo da espessura da placa, para pedras com menos de 30 mm de espessura, ou a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior, para placas mais espessas. Os furos têm de ter um diâmetro superior em cerca de 1mm ao do diâmetro necessário para o agrafos, com uma profundidade de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafos, com um mínimo de 30 mm de profundidade.

c) Os furos nas placas de pedra foram devidamente preenchidos

Para um correcto preenchimento os furos nas pedras devem começar por ser limpos e humedecidos com água, caso se use calda de cimento, para garantir uma aderência perfeita da argamassa ao suporte.

Depois da introdução dos agrafos há que verificar que os furos nas pedras foram correctamente preenchidos para evitar que penetre água, que as pedras abanem ou que se possam soltar.

d) Garantir que são deixadas juntas de tamanho adequado entre as pedras

As juntas entre pedras têm de ter uma espessura mínima de 4 mm e um espessura máximo de 1/3 da espessura da placa aplicada. Devem ser respeitadas as juntas em zonas de singularidades, de mudança de material de revestimento ou nas juntas de dilatação do edifício.

Em zonas de grandes áreas revestidas onde não se tenham considerado a existência de juntas de dilatação ou de juntas entre materiais, é necessário verificar a existência de juntas horizontais de fraccionamento espaçadas de 3 em 3 metros e juntas verticais de fraccionamento de 6 e 6.

e) Os tempos de secagem das argamassas são respeitados

Os chumbadouros e os pontos de argamassa deverão estar devidamente secos antes de prosseguir com a colocação das pedras nas fiadas superiores, de modo a assegurar a qualidade da obra.

6.3.2 Gatos Metálicos

a) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado

Deve-se verificar que os furos têm pelo menos 80mm de profundidade e um diâmetro mínimo de 40 mm.

b) Os furos nas placas de pedra têm o tamanho adequado

O eixo dos furos deve coincidir com o eixo da espessura da placa para placas com menos 30 mm de espessura ou a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior para placas mais espessas. Os furos têm de ter um diâmetro superior em cerca de 1mm ao do diâmetro necessário para o agrafos, com uma profundidade de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafos, com um mínimo de 30 mm de profundidade.

c) Os furos nas placas de pedra foram devidamente preenchidos

Antes de serem preenchidos os furos nas placas de pedra, deve-se confirmar que foram limpos e humedecidos com água, caso se use calda de cimento, para garantir uma aderência perfeita da argamassa à pedra.

Depois de se terem introduzido os pinos dos gatos nos furos das pedras devemos verificar que os furos nas pedras foram correctamente preenchidos para evitar que penetre água, que as pedras abanem ou que se possam soltar.

Deve-se ter atenção para garantir que nos furos inferiores se aplica calda, cola ou silicone para solidificar as pedras aos pinos. Nos furos superiores apenas se usam camisas plásticas para garantir liberdade de movimentos.

d) Garantir que são deixadas juntas de tamanho adequado entre as pedras

As juntas entre as placas de pedra têm de ter uma espessura mínima de 5 a 6 mm e uma espessura máxima de 1/3 da espessura da placa aplicada. Devem ser respeitadas as juntas em zonas de singularidades, de mudança de material de revestimento ou nas juntas de dilatação do edifício.

Em fachadas de grandes dimensões ou se houver dúvidas sobre a elasticidade das juntas correntes entre placas de pedra, deve garantir-se que existem juntas de esquadramento suplementares horizontais e verticais que delimitam painéis de áreas mais reduzidas.

e) Os tempos de secagem do cimento ou das argamassas são respeitados

Depois de se terem preenchido os chumbadouros com cimento ou argamassa e de se ter introduzido o gato, deve-se deixar secar até que seja seguro colocar as pedras

Quando se usa cimento rápido deve-se fazer a amassadura de pequenas quantidades de cimento de forma a que este não perca a trabalhabilidade .

f) A caixa de ar é de dimensões adequadas e está desobstruída

É recomendado deixar um espaço de caixa de ar de cerca de 5 a 7 cm entre a parede do edifício e as placas pétreas, sendo que a distância mínima exigível entre o isolamento térmico e os elementos pétreos ou entre as pedras e a fachada do edifício caso não se opte pela colocação de isolamento é de 20 mm.

Deve também assegurar-se que a zona de caixa de ar está limpa de restos de cimento ou argamassa.

g) Os gatos com fixação mecânica estão correctamente instalados

Quando se usam fixações mecânicas deve-se verificar que estas foram correctamente instaladas de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante. É especialmente importante verificar se a força de aperto aplicada nos parafusos é a necessária para garantir a segurança da fixação.

A distância mínima entre um fixador mecânico e a borda das paredes de betão tem de ser no mínimo igual a 1,5 vezes à profundidade a que este foi embutido. O distanciamento entre fixadores tem de respeitar uma distância mínima entre eles de 3 vezes a profundidade de embutimento.

6.3.3 Estrutura Intermédia de Suporte

a) Garantir que a cada parte da estrutura intermédia é fixa apenas a um tipo de suporte

Tal como as placas de pedra, a estrutura intermédia também tem de ficar fixa apenas a um tipo de suporte. É portanto necessário aplicar estruturas de suporte independentes e realizar juntas no revestimento pétreo caso existam diferentes suportes que possam ter deslocamentos relativos entre eles.

b) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado

Deve-se verificar que os furos têm as dimensões adequadas de acordo com a estrutura de suporte que se vai instalar.

c) Nas estruturas sem elementos horizontais os furos ou calhas nas placas de pedra têm o tamanho adequado e foram feitos correctamente

Quando as placas de pedra são fixas com recurso a pinos que penetram em furos nas pedras, o eixo destes deve coincidir com o eixo da espessura da placa, para placas com menos 30 mm de espessura, ou a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior, para placas mais espessas. Os furos têm de

ter um diâmetro superior em cerca de 1mm ao diâmetro necessário para o agrafio, com uma profundidade de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafo, com um mínimo de 30 mm de profundidade.

Antes dos furos serem preenchidos, e caso se use calda de cimento, deve-se confirmar que os furos foram limpos e humedecidos com água.

Deve-se também ter atenção para garantir que, nos furos inferiores, se aplica calda, cola ou silicone para solidificar as pedras aos pinos. No entanto, nos furos superiores, apenas se usam camisas plásticas para garantir liberdade de movimentos.

d) Nas estruturas com elementos horizontais os furos ou calhas nas placas de pedra têm o tamanho adequado e foram feitos correctamente

Quando as placas de pedra são fixas com recurso a clips que penetram em calhas nas pedras, o eixo das calhas deve coincidir com o eixo da espessura da placa. Esta calha tem de ter uma espessura de 1 cm.

Em zonas onde as juntas são deixadas abertas é necessário verificar que foi efectuada uma reentrância no meio do tardo da parte superior da pedra, na zona da fenda, para que a água que ali se deposite possa sair.

e) A caixa de ar está desobstruída

Uma vantagem deste tipo de sistema de fixação das pedras é a obtenção de uma caixa de ar de dimensões adequadas que permite uma correcta ventilação do espaço entre o revestimento e a fachada do edifício. Para que se possa beneficiar da caixa de ar esta tem, no entanto, de ficar limpa de restos de cimento ou argamassa que possam ter caído das operações de preenchimento dos furos dos chumbadouros.

f) Os tempos de secagem do cimento ou das argamassas de preenchimento dos chumbadouros são respeitados

Depois de se ter fixo a estrutura intermédia de suporte à fachada com recurso a chumbadouros, é necessário esperar que estes sequem antes de começar a aplicar as pedras na estrutura. Quando se usa cimento rápido, a amassadura deve ser feita em pequenas quantidades de cimento de forma a que este não perca a trabalhabilidade .

g) Os fixadores mecânicos da estrutura estão correctamente instalados

No caso de se utilizarem fixações mecânicas deve-se verificar que estas foram correctamente instaladas de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante, nomeadamente no que diz respeito à força de aperto aplicada nos parafusos que tem de ser a necessária para garantir a segurança da fixação.

A distância mínima entre um fixador mecânico e a borda das paredes de betão tem de ser, no mínimo, igual a 1,5 vezes à profundidade a que este foi embutido e o distanciamento entre fixadores tem de respeitar uma distância mínima entre eles de 3 vezes a profundidade de embutimento. Se o fabricante da estrutura intermédia de suporte fornecer indicações diferentes, a instalação dos fixadores deve sempre respeitar as medidas mais restritivas.

h) A estrutura de suporte está devidamente nivelada

O nivelamento da estrutura de suporte intermédia deve ser garantido, ou seja os elementos horizontais deverão estar de facto horizontais e os elementos verticais em esquadria com estes.

6.4 Verificações finais gerais após a aplicação do revestimento

Depois de concluída a instalação do revestimento, há vários aspectos que devem ser verificados para garantir que este se encontra bem aplicado.

a) Os paramentos cumprem, com as tolerâncias permitidas, o projecto de revestimentos

Os paramentos, depois de acabados, devem ter uma tolerância máxima na implantação e nas cotas principais de 5 mm, um desvio de esquadria máximo de 10 mm, e um desvio na verticalidade máximo de 4 mm na altura de um andar. Quanto ao empenamento do paramento, aceita-se um máximo de 1 mm em relação à régua de 0,2 m e de 2 mm em relação à régua de 2,00 m em qualquer direcção [16].

b) Verificar que o excesso de material de preenchimento das juntas foi limpo

Nos casos em que as juntas entre pedras são preenchidas, deve-se assegurar que o excesso de material de preenchimento que tenha eventualmente ficado nas placas pétreas foi limpo, enquanto ainda se encontrava fresco.

c) Verificar que as zonas no topo dos revestimentos estão impermeabilizadas

As zonas nos topos superiores dos revestimentos devem encontrar-se impermeabilizadas para evitar a entrada de água que molhe o material de assentamento dos revestimentos com fixação directa ou para o interior da caixa de ar em revestimentos com fixação indirecta.

Após esta descrição pormenorizada dos múltiplos aspectos que devem ser verificados nas diferentes fases da construção, é importante destacar, em síntese, aqueles que se nos afiguram ser os essenciais em qualquer inspecção de obra pelo impacto que podem ter na qualidade de obra e na sua durabilidade.

- Juntas entre pedras têm dimensões adequadas
- Cada pedra é fixa a apenas um tipo de suporte.
- Cordões de cola são esmagados aquando da aplicação das pedras – no caso de revestimento com fixação directa .
- Suportes metálicos são fixos de forma adequada às fachadas e as placas de pedra são devidamente instaladas nos respectivos suportes - no caso de revestimento com fixação indirecta .

7 Caso de estudo

Em qualquer uma das técnicas de revestimento de fachadas que foram descritas atrás, para a obtenção de um resultado final de boa qualidade e durável é necessário seguir as normas do fabricante dos produtos e as regras que aqui foram enumeradas. No entanto, estas não são seguidas em todas as obras, quer por desconhecimento das mesmas, por razões económicas, por falta de formação dos aplicadores ou por falta de fiscalização. A aplicação incorrecta de um revestimento de fachadas usando uma técnica de revestimentos que, à partida, garantiria bons resultados, como a técnica de fixação indirecta recorrendo a gatos metálicos por exemplo, pode comprometer todo o resultado final.

Erros de aplicação neste tipo de fachadas podem anular, por completo, as vantagens dos revestimento de pedra, acarretando investimentos inesperados ao longo da vida da obra para a regularização dos defeitos ocorridos durante a construção.

Um exemplo deste tipo de problemas resultantes da incorrecta aplicação dos materiais ocorreu num edifício em Lisboa, que possui fachadas revestidas a placas de calcário moleanos, fixadas através de gatos metálicos chumbados. Neste edifício, muito antes do final da vida útil prevista para este tipo de revestimentos, houve a necessidade de proceder a importantes obras que passaram pela completa remoção de todas as pedras e de todo o sistema de fixação e a sua substituição por um novo. Esta necessidade ficou a dever-se a importantes erros de instalação do sistema que provocaram o desprendimento de pedras e não à degradação dos suportes em si.

7.1 Anomalias detectadas

Nas obras de reparação do revestimento do edifício em causa optou-se por aplicar o mesmo tipo de pedra com um sistema de fixação semelhante: gatos metálicos em aço inoxidável fixos através de chumbagem em zonas de alvenaria e com buchas químicas em zonas de betão.

Este edifício foi portanto escolhido como caso de estudo, por um lado porque permitia ilustrar algumas das anomalias que já aqui foram apresentadas e por outro, porque permitia pôr em prática o plano de controlo de qualidade.

As visitas à obra, durante o período em que estavam a decorrer os trabalhos de remoção do antigo revestimento, permitiram identificar alguns erros de aplicação do revestimento original que levaram à sua degradação e que de seguida se apresentam.

a) Erros na instalação dos gatos metálicos nos chumbadouros

Nesta obra, nas zonas correntes de alvenaria foram instalados gatos de fixação dos elementos pétreos com chumbadouros realizados com cimento. Em muitos dos chumbadouros, para acelerar o processo de instalação do revestimento, não se respeitou o tempo de espera recomendado para assegurar que o

cimento ganhasse presa e capacidade resistente para a instalação das placas de pedra. Ao invés, os instaladores decidiram colocar cunhas de madeira na parte inferior dos chumbadouros para apoiar os gatos (figura 7.1) e assim poderem instalar de imediato as pedras. No entanto, a madeira não é um material durável para assegurar esta função e, passado pouco tempo, esta apodreceu deixando um espaço vazio na parte inferior dos chumbadouros. Os gatos deixaram assim de estar devidamente solidarizados ao suporte e desprenderam-se ou descaíram, pondo em risco a correcta fixação do revestimento.



Fig 7.1 - Pormenor dum gato metálico fixo com cunhas de madeira

Este procedimento não está de acordo com o recomendado. Como já foi referido os chumbadouros devem ser totalmente preenchidos apenas com cimento, cola ou argamassa para garantir a correcta solidarização dos suportes à fachada.

b) Erros no dimensionamento das juntas entre pedras

Outro problema que foi detectado neste edifício foi a inexistência ou o subdimensionamento das juntas entre pedras. Em grandes zonas das fachadas não existiam juntas verticais entre pedras, que estavam encostadas umas às outras, como se pode verificar pela figura 7.2. Desta forma, cada fiada de pedras comportava-se de forma monolítica, provocando enormes esforços nas pedras e causando grandes deformações nas laterais das fiadas. Nas zonas de cantos da fachada do edifício, as deformações dum pano do revestimento provocaram o arrancamento das pedras do pano adjacente.

Em algumas zonas do edifício foram cavados entalhes nos topos das pedras que permitiam acomodar a parte achatada dos gatos (ilustrados na figura 7.3); deste modo era possível encostar completamente as pedras umas às outras sem deixar nenhuma junta. Tal solução revelou-se inadequada pois impedia as dilatações e deformações das pedras, causando enormes tensões nas pedras e nos suportes. É sempre imprescindível deixar juntas verticais e horizontais entre as pedras do revestimento com as dimensões já descritas acima.



Fig 7.2 - Pormenor da fachada com as juntas entre pedras de tamanho insuficiente



Fig 7.3 - Pormenor das laterais das pedras com os entalhes para acomodar os gatos

c) Erros relacionados com a localização dos gatos metálicos

Neste edifício em estudo foi detectado ainda outro problema importante relacionado com o local onde os suportes das pedras foram instalados. Em vários locais existiam pedras fixas a diferentes tipos de suporte. Na fachada, ao nível dos pisos inferiores, existiam perfis metálicos aparentes que foram usados para suportar para os gatos de suporte das pedras. Algumas pedras estavam apoiadas em baixo por gatos suportados pelos perfis metálicos e em cima, por chumbadouros realizados na argamassa da estrutura (figuras 7.4 a 7.6). Como a alvenaria e o metal têm comportamentos bem diferentes, nomeadamente no que diz respeito às variações dimensionais provocadas por mudanças de temperatura, os gatos superiores e inferiores destas pedras tinham movimentos relativos entre eles. Estes movimentos diferenciais dos suportes esforçavam demasiado as pedras, criando tensões importantes nas pedras e nos suportes. Estas tensões provocaram danos nas pedras ao nível dos furos dos pinos metálicos e danos nos gatos e chumbadouros que se soltaram da fachada.



Fig 7.4 - Gatos metálicos (círculos a vermelho) suportando uma mesma pedra fixos a dois tipos de suportes diferentes: alvenaria e estrutura metálica



Fig 7.5 - Pormenor do gato metálico soldado à estrutura metálica do edifício

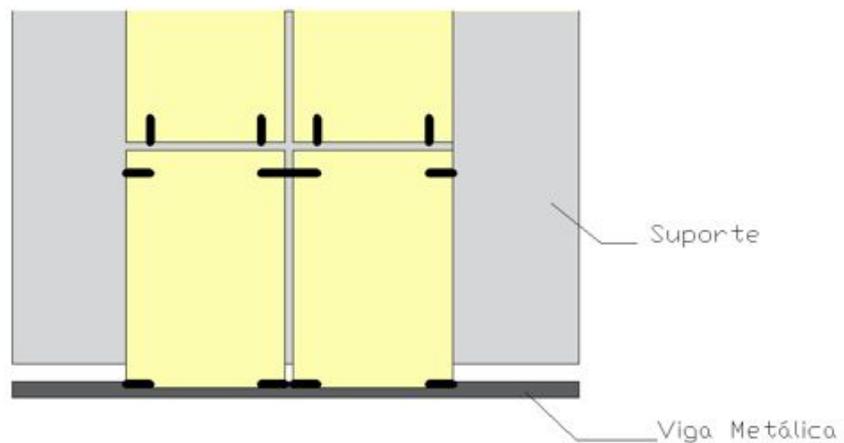


Fig 7.6 - Esquema do modo incorrecto de fixação das pedras a dois suportes diferentes

Para a correcta aplicação das pedras nesta zona dever-se-iam ter utilizado apenas chumbadouros na fachada e sem qualquer apoio nas zonas metálicas. Como é necessário respeitar uma distância mínima entre o chumbadouro e o fim do pano de parede, nesta situação poder-se-iam ter colocado quatro gatos metálicos que fixavam as pedras pelas faces verticais, como se ilustra na figura 7.7, abaixo apresentada. Deste modo, além de se garantir que os pinos metálicos não ficariam visíveis pela face inferior da pedra, seria possível fazer os buracos dos chumbadouros a uma distância segura do final do pano de parede.

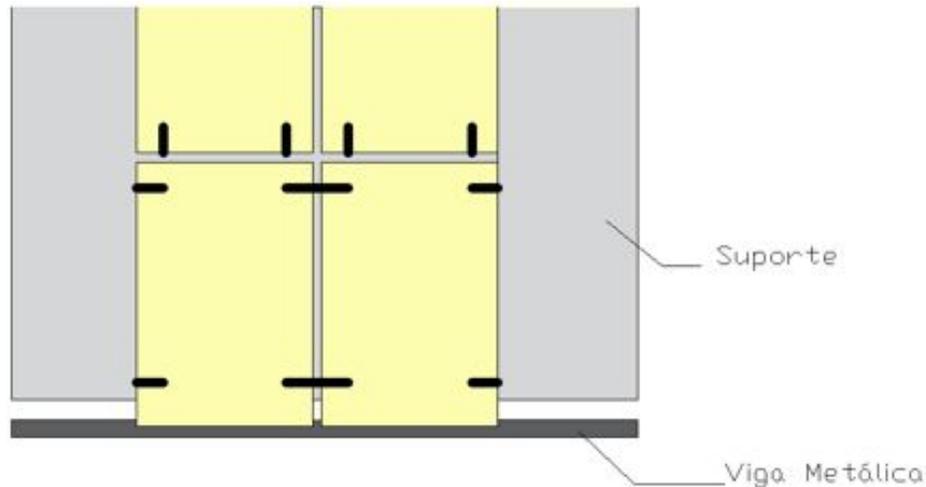


Fig 7.7 - Esquema da solução proposta para a colocação dos gatos metálicos e da aplicação das pedras

d) Erros relacionados com inadequabilidade do material usado para os pinos metálicos

Outra anomalia detectada nesta obra refere-se aos pinos usados para prender as placas de pedra aos gatos metálicos e com a sua incorrecta instalação. Um dos erros encontrado foi o recurso sistemático a pinos sem batente, compostos unicamente por pedaços de fio de ferro que foram cortados em obra, como se pode ver na figura 7.8. Ao cortar os pinos, não foram tomados os cuidados necessários para garantir que estes tinham o tamanho correcto e, muitos deles, eram demasiado curtos. Esta anomalia foi ainda ampliada devido aos furos onde os pinos penetram nas pedras não terem o tamanho regulamentar. A maioria dos furos presentes nos topos das pedras são mais profundos do que o necessário; ao usarem-se pinos sem batente, quando se colocou o pino no furo, este caiu para o fundo do furo. Em muitas das pedras o troço superior do pino de suporte que sobrava era de tal maneira pequeno que já não assegurava o correcto suporte da pedra superior.



Fig 7.8 - Exemplo de um pino demasiado curto e sem batente utilizado na obra

e) Erros relacionados com a má instalação dos pinos metálicos

Além do material dos pinos não ser o aconselhado, estes estavam solidarizados às pedras com cimento rápido, o que impedia todo e qualquer movimento das pedras. Não foram sequer usadas camisas plásticas, nem materiais de colagem elásticos, como aconselham os fabricantes destes sistemas de fixação de pedras.

Em sistemas de fixação de pedras usando a técnica dos gatos metálicos devemos sempre que possível usar pinos com batente que penetram em furos nas pedras que têm de estar bem dimensionados, e usar cavilhas plásticas e colas elásticas para fixar o pino da forma que foi descrita mais acima. Apenas desta forma se pode garantir uma correcta liberdade de movimentos das pedras que podem assim absorver as deformações do suporte.

f) Erros relacionados com a aplicação dos gatos metálicos: vãos de janelas

Na obra visitada, os técnicos que estavam a fazer as obras de conservação também detectaram problemas junto aos vãos das janelas. Na realidade, havia problemas ao nível dos chumbadouros que estavam perto dos peitoris da janela. Nesta zona, não há necessidade de ter especial cuidados além de realizar os chumbadouros a uma certa distancia dos vãos de janela, que pode ser igual à distância mínima recomendável entre um chumbadouro e o final dum pano de fachada. No entanto, nesta obra não foram feitos chumbadouros nas zonas perto dos vãos de janela; ao invés, os gatos foram colocados directamente sobre o vão e depois foram tapados com a argamassa que serviria para assentar as pedras dos peitoris e das aduelas das janelas. Esta forma de prender os gatos é incorrecta porque, por um lado, não apresenta de forma alguma resistência similar à de um chumbadouro realizado na alvenaria e preenchido com cimento rápido. Por outro lado, esta forma de fixação dos gatos, aliada à falta de juntas entre pedras que já foi anteriormente referida, provocou ainda outro estrago. Como não havia juntas para absorver as deformações e dilatações das pedras ao nível da cada placa, as dilatações das pedras aconteciam todas no final das fiadas, neste caso junto dos vãos das janelas. Como os chumbadouros eram a argamassa de assentamento das pedras dos vãos das janelas, as dilatações das pedras (provocadas pelo calor por exemplo) provocaram o levantamento e descolamento dos peitoris e das aduelas das janelas, originando assim infiltrações para o interior do edifício.

g) Erros relacionados com a aplicação dos gatos metálicos: muretes de varandas e canteiros

Em zonas perto das extremidades dos panos de parede, nomeadamente nos topos de paredes e muretes, como paredes guarda corpos das varandas ou nos muros dos canteiros, havia ainda outra situação não admissível de fixação de gatos. Nestas zonas, o revestimento devia cobrir as duas faces das paredes, ou seja, o lado interior e exterior dos guarda corpos das varandas. Para instalar os gatos dessas placas pétreas, os aplicadores de pedra optaram por soldar os gatos que suportavam as pedras de ambos os lados da fachada uns aos outros, ficando estes apoiados no topo do muro (figuras 7.9 e 7.10).

Tal solução não é adequada pois os panos de pedra exterior e interior da parede não têm o mesmo comportamento, podendo haver um que tenha deformações diferentes do outro; ao unirem-se os gatos, cria-se outro ponto de tensões desnecessário, que pode provocar danos nas pedras ou a ruptura de chumbadouros num nível inferior.



Fig 7.9 - Gatos que suportam as pedras do lado interior e exterior do muro soldados um ao outro

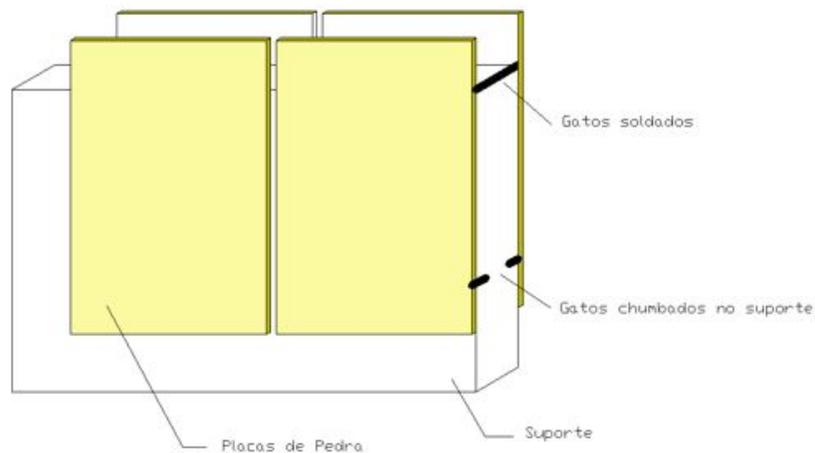


Fig 7.10 - Esquema dos gatos metálicos que suportam as pedras do lado interior e exterior do muro soldados um ao outro

A solução para esta anomalia passaria pela realização de chumbadouros, no lado interno da parede, para fixar as pedras colocadas no interior do guarda corpos e, no lado externo da parede, para fixar as pedras colocada no exterior, como se pode observar na figura 7.11, abaixo apresentada.

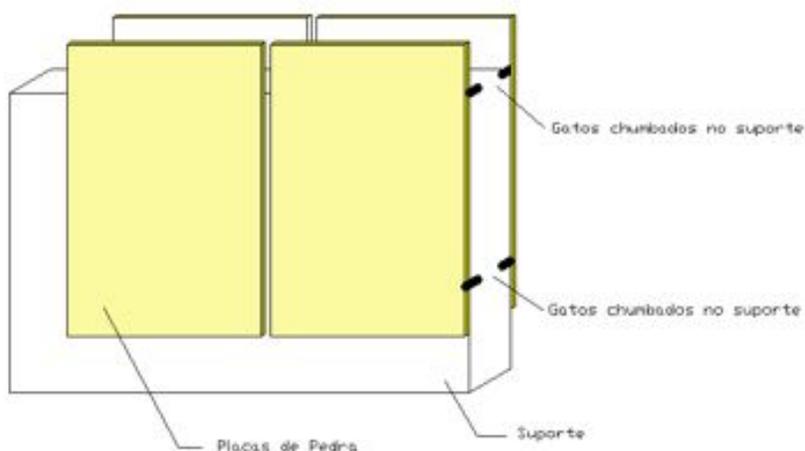


Fig 7.11 - Esquema da solução proposta para o problema com gatos independentes do lado exterior e interior do muro

h) Erros relacionados com a aplicação dos gatos metálicos: suspensão de pedras

No edifício visitado existia também uma zona onde era necessário colocar placas de pedra suspensas na horizontal. Nesta situação dever-se-iam ter usado suportes especiais para revestimentos de tectos que possuem dois pontos de fixação de forma a distribuir os esforços (ex: Gama Omega da Halphen) e que usualmente se fixam ao suporte através de meios mecânicos para permitir uma imediata colocação das pedras. No entanto, no edifício alvo da intervenção, originalmente não se usaram este tipo de suportes mas chumbadouros tradicionais realizados no tecto. Para fixar as pedras a estes recorreu-se ao uso de arames que se prendiam aos gatos e às pedras. Esta solução não é de todo admitida pois não garante a segurança necessária, havendo o perigo de pedras se soltarem de uma grande altura.

i) Erros relacionados com a aplicação do revestimento em zonas de passagem

Neste edifício, foram usados métodos indirectos de fixação de pedras nas zonas mais baixas das fachadas. Nessas zonas, onde existe circulação de pessoas e de máquinas, seria mais recomendável usar-se um método de fixação directo, mais resistente aos choques, para evitar a fracturação das placas de pedra (fig. 7.12).



Fig 7.12 - Pormenor de uma placa de pedra fracturada localizada numa zona de passagem

Nesta obra, quando se optou pela fixação directa das pedras ao suporte em zonas mais baixas, os métodos escolhidos não foram também os mais adaptados originando muitos descolamentos de pedras (fig. 7.13).



Fig 7.13 – Exemplo de descolamento de placas de pedra originados pela incorrecta aplicação das placas

i) Outras falhas diversas

Além de todas estas falhas que foram possíveis de detectar durante a desmontagem das pedras da fachada, os operários reportaram ainda outras falhas que não puderam ser documentadas com fotografias: inúmeros chumbadouros não tinham cimento no seu interior, estando o gato apenas inserido no furo aberto no suporte e alguns gatos cortados e serrados sem explicação aparente.

Esta enorme quantidade de erros evidencia uma total falta de formação e de cuidado pela parte dos trabalhadores e deficiências claras na fiscalização que deveria ter sido realizada durante a realização dos trabalhos.

7.2 Verificação do Plano de qualidade

Seguidamente, e usando a obra em estudo, verifica-se a aplicabilidade do Manual de Controlo de Qualidade apresentado no Capítulo 6 e se este traz reais benefícios para o acompanhamento da obra. Os resultados serão aqui apresentados em formato de texto para possibilitar a inclusão de alguns comentários. O preenchimento das Fichas de Controlo de Qualidade, em anexo, seria contudo suficiente para a correcta aplicação do plano. A apresentação seguirá todas as fases propostas no plano de controlo de qualidade, sempre que aplicáveis às características da obra em estudo.

De notar que algumas informações relativas a dados sobre a obra não puderam ser facultadas, o que impediu que se verificassem alguns pontos presentes no manual de controlo de qualidade.

7.2.1 – Verificações gerais para todos os tipos de métodos de fixação

7.2.1.1 Alguns aspectos a verificar antes do início da obra

a) Verificar que existe um projecto de revestimento de fachadas completo

Os planos de montagem do revestimento possuíam informação sobre os métodos de revestimento adoptados, o tipo de material necessário e suas quantidades. Também era possível ver as dimensões das pedras a encomendar, o local onde iriam ser aplicadas, a localização das fixações e das juntas entre pedras como se pode comprovar na figura 7.14.

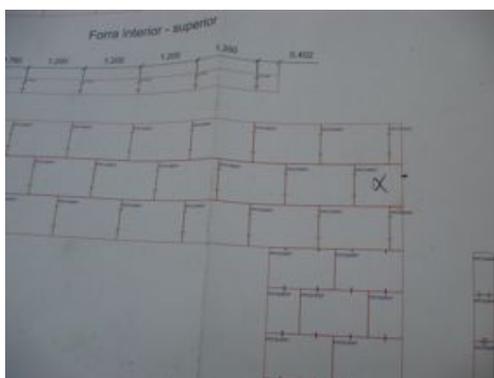


Fig 7.14 - Plano de montagem do revestimento usado na obra, com indicações das pedras a usar e localização dos gatos metálicos

Não foi possível apurar se a localização dos gatos foi escolhida tendo em consideração a posição das armaduras principais da estrutura do edifício.

b) Verificar acessibilidade dos trabalhadores e segurança dos andaimes

Os andaimes instalados na obra cobriam toda a superfície das fachadas que seriam intervencionadas, possuíam guarda corpos de segurança e redes de protecção para evitar a queda de objectos na via pública. Tinham, além disso, uma dimensão correcta para o trabalho, sendo suficientemente largos para o transporte das pedras.

c) Verificar a existência e uso dos equipamentos de protecção

Durante a obra, constatou-se que os trabalhadores usavam capacetes e calçado de segurança.

d) Verificar que os materiais necessários foram encomendado nas quantidades adequadas para as fases da obra em curso

A informação recolhida na obra assegurou que o material encomendado seria suficiente, tendo mesmo sido encomendado quantidades superiores de material pétreo para poder compensar eventuais quebras ou não conformidades de algumas placas de pedra.

7.2.1.2 Alguns aspectos a verificar aquando da chegada dos materiais à obra

7.2.1.2.1 Materiais pétreos

a) Verificar que as placas de pedra que chegam à obra são as encomendadas

Foi verificado, junto com os engenheiros responsáveis, que as pedras que chegaram à obra eram similares às amostras fornecidas, estando portanto em conformidade com as expectativas.

b) Verificar que os materiais entregues têm a marcação CE e a denominação da pedra

Não tendo sido possível estar presente no local durante a chegada e descarga dos materiais, não foi possível verificar se estes possuíam toda a documentação exigida.

c) Verificar que as pedras têm as dimensões correctas de acordo com as tolerâncias admitidas

Não tendo sido facultada toda a documentação relativa à dimensão das pedras encomendadas, não foi possível verificar que as dimensões dos materiais estava em conformidade com a encomenda.

A informação obtida no local da obra indica que esta verificação havia sido feita e que as pedras estavam em conformidade, respeitando as tolerâncias permitidas para este tipo de medidas. Estas medidas foram efectuadas com mais facilidade porque todas as pedras estavam numeradas de acordo com o projecto de revestimento da fachada, como documentado na figura 7.15.



Fig 7.15 - Pedras à chegada à obra numeradas e identificadas

d) Verificar que os materiais estão em boas condições

As placas de pedra apresentavam-se globalmente em boas condições, sem manchas nem saliências profundas e vinham bem embaladas, em paletes de madeira, envoltas em plástico. As pedras estavam fixas com fita metálica (figura 7.16) para impedir que se partissem durante o transporte; nas zonas onde a fita estava em maior contacto com as placas de pedra, o metal foi protegido por peças de plástico para evitar lascar as pedras (figura 7.17). Depois de terem sido descarregados na obra, os materiais eram mantidos armazenados nas suas embalagens de transporte, sob um telheiro.



Fig 7.16 - Placas de pedra à chegada à obra, bem acondicionadas e em boas condições



Fig 7.17 - Pormenor da protecção em plástico para evitar o contacto das pedras com o metal

e) Verificações a efectuar quando se aplicam granitos

Este critério não se aplica nesta obra.

f) Verificações a efectuar quando se aplicam mármore

Este critério não se aplica nesta obra.

7.2.1.2.2 Materiais de fixação

a) Verificar que os materiais de fixação são os encomendados

Segundo a informação dada pelo engenheiro responsável, os gatos metálicos bem como os materiais de colagem correspondiam aos encomendados.

b) Verificar que os materiais de fixação estão em bom estado

Os gatos metálicos de suporte das placas de pedra chegaram à obra devidamente acondicionados, sem marcas de ferrugem. As colas e outros materiais de colagem vinham todas nas suas embalagens originais.

7.2.1.3 Alguns aspectos a verificar nas fachadas onde as placas de pedra vão ser aplicadas

a) Os suportes estão limpos e prontos a receber os revestimentos

A superfície encontrava-se coberta com uma camada de impermeabilização composta por uma tela asfáltica em boas condições.

b) Verificar as condições das fachadas no que diz respeito à planeza

As fachadas onde se iam instalar os revestimentos apresentavam uma planeza suficiente. Esta foi medida nalguns pontos com uma régua de 2 metros e os desvios de planeza encontrados eram pouco significativos, e não iriam interferir nem com a colocação dos gatos metálicos nem com a aplicação do revestimento.

c) Assegurar que os locais onde são realizadas operações que fazem pó estão afastados da zona onde se está a instalar o revestimento

As pedras que foram usadas na obra já vinham cortadas nas medidas certas, havendo muito poucos acertos a fazer. Não havia, na obra, fontes importantes de pó que pudessem pôr em causa a qualidade dos trabalhos de colocação do revestimento.

7.2.1.4 Alguns aspectos a verificar durante a execução da obra

a) Garantir que os trabalhos são fiscalizados

A obra contava com a permanente presença do encarregado de obra, que conhecia os projectos, e da equipa de engenheiros que fazia vistorias regulares para verificar os trabalhos e para acompanhar as etapas mais importantes.

b) Garantir que se usam produtos de colagem adequados às pedras que vão ser usadas

Segundo informação recolhida em obra, o adesivo usado para prender os pinos às pedras já havia sido usado em pedras similares noutras obras, com bons resultados.

7.2.2 – Fixação directa: Verificações específicas

Este critério não se aplica nesta obra.

7.2.3 – Fixação indirecta: Verificações específicas

a) Verificar compatibilidade entre projecto de revestimentos e projectos de outras especialidades

Como foi referido nas verificações gerais, não foi possível consultar os projectos de especialidades onde constam as localizações das armaduras e de outros elementos que possam estar localizados nas fachadas exteriores (tubos de queda de água pluviais, etc.). Por esse motivo, não foi possível apurar se a localização dos gatos foi escolhida tendo em consideração os eventuais elementos presentes nas fachadas exteriores.

b) Garantir que as placas de pedras são fixas apenas a um tipo de suporte

Nesta obra houve algumas pedras que foram colocadas com gatos fixos a dois suportes diferentes, separados por uma junta de dilatação do edifício. Este procedimento afigura-se á partida incorrecto pois cada placa de pedra não deve ficar fixa a dois suportes diferentes, que podem ter comportamentos diferentes, causando esforços elevados na placa de pedra. É pois importante portanto garantir que todos os gatos que fixam uma pedra estão seguros a apenas um suporte do mesmo material e sem juntas de dilatação na zona onde a pedra é colocada.

No entanto, foi nesta obra referido que nesses casos os buracos para os pinos efectuados nas placas de pedra eram consideravelmente ovalizados para permitir o movimento da placa de pedra na direcção das juntas existentes na fachada. Este solução não é a que consta nos manuais técnicos de aplicação deste tipo de fachadas, onde é sempre referido que não se deve aplicar uma pedra fixa a dois suportes diferentes que possam ter deslocamentos entre si, como é o caso de superfícies separadas por uma junta de dilatação.

Este procedimento, ainda que com esta adaptação, pode suscitar duvidas quanto á sua adequação pois mesmo com a realização de furos de tamanho superior aos pinos para permitir que as placas de pedra acompanhem os movimentos das juntas de dilatação do edifício, é possível que se instalem tensões nessas placas de pedra que podem levar à quebra destas ou dos seus suportes.

c) Os furos dos chumbadouros foram feitos correctamente

Os furos foram feitos perpendicularmente à fachada, à excepção dos realizados próximos das esquinas do edifício que eram realizados a cerca de 45º em relação à fachada, como recomendado. Antes de serem preenchidos com argamassa os furos eram limpos e soprados e humedecidos com água para garantir uma aderência perfeita da argamassa ao suporte.

d) As pedras estão devidamente niveladas

Ao aplicar as pedras era verificado o seu nivelamento com um nível que era poisado em cima destas, para verificar se estavam horizontais e com outro que era colocado num dos lados para verificar a sua verticalidade.

7.2.3.1 Agrafos e pontos de argamassa

Este critério não se aplica nesta obra.

7.2.3.2 - Gatos metálicos

a) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado

Os furos para os chumbadouros eram realizados com uma broca de 25 mm de diâmetro. A dimensão final dos furos acabou por ser um pouco maior visto que o operador movia o martelo perfurador para os lados durante a realização dos furos. Constatou-se que estes ficavam com um diâmetro entre os 35mm e os 40 mm, ligeiramente inferior ao mínimo recomendado (40 mm). A profundidade destes não era controlada individualmente mas ultrapassava os 80 mm mínimos recomendados.

b) Os furos nas placas de pedra têm o tamanho adequado

O eixo dos furos coincidia com o eixo da espessura da placa, e estes tinham um diâmetro de cerca de 7 mm. Desse modo, havia uma folga de 2 mm entre o tamanho dos furos e o tamanho dos pinos metálicos para garantir que as camisas plásticas usadas nos suportes superiores coubessem nos furos.

A profundidade destes furos não era controlada de forma muito precisa, havendo apenas uma marca na broca com que se realizaram os furos da profundidade mínima destes. No entanto, como os pinos usados tinham um batente a meio que fixava a sua posição, mesmo que a profundidade dos furos efectuados fosse ligeiramente superior à necessária, este procedimento não poderia pôr em risco a qualidade do trabalho.

c) Os furos nas placas de pedra foram devidamente preenchidos

Os furos realizados na pedras eram soprados para retirar a poeira antes de serem preenchidos.

Nos furos inferiores foi aplicada cola para solidificar os pinos às pedras, com uma espátula para garantir que a totalidade do furo era preenchido. Nos furos superiores usaram-se apenas camisas plásticas para garantir liberdade de movimentos e assim absorver eventuais deslocamentos e dilatações.

d) Garantir que são deixadas juntas de tamanho adequado entre as pedras

Nesta obra, optou-se pela realização de juntas entre pedras de 5 mm. Essas juntas eram realizadas com o recurso a duas cunhas plásticas de 2mm e de 3mm sobrepostas, para garantir a uniformidade do tamanho das juntas. Este tipo de procedimento garantiu que as juntas deixadas respeitavam a espessura

mínima recomendada para este tipo de revestimento. Não foi possível apurar se tinham sido deixadas juntas suplementares de esquadramento para delimitar painéis de áreas mais reduzidas nas fachadas de maiores dimensões.

e) Os tempos de secagem do cimento ou das argamassas são respeitados

Depois de se preencherem os chumbadouros com cimento rápido e de se ter introduzido o gato, o cimento ganhava presa em poucos minutos. O tempo necessário para deslocar a pedra até à zona de aplicação era suficiente para garantir que os chumbadouros secavam devidamente até ser seguro colocar as pedras.

Durante o preenchimento dos gatos o cimento era amassado em pequenas quantidades (apenas o suficiente para o preenchimento de dois chumbadouros) para que este não perdesse a sua trabalhabilidade.

f) A caixa de ar é de dimensões adequadas e está desobstruída

A caixa de ar, ou seja o espaço entre o pano de alvenaria e o tardo das placas de pedras tinha cerca de 5 cm. Houve o cuidado, tal como é recomendado, de alisar o cimento dos chumbadouros dos gatos metálicos para que a caixa de ar ficasse desobstruída.

g) Os gatos com fixação mecânica estão correctamente instalados

Nesta obra, estava prevista a utilização de fixação mecânica associada a gatos próprios para a suspensão de placas de pedra nas zonas onde era necessário instalar placas de pedra na parte inferior de superfícies horizontais. No entanto, esta fase da obra ainda não se encontrava a decorrer, no momento em que este trabalho foi elaborado, pelo que não foi possível analisar se as instruções fornecidas pelo fabricante da fixação mecânica, nomeadamente as forças de aperto, estavam a ser respeitadas.

7.2.3.3 Estrutura Intermédia de Suporte

Este critério não se aplica nesta obra.

7.2.4 Verificações finais gerais após a aplicação do revestimento

a) Os paramentos cumprem, com as tolerâncias permitidas, o projecto de revestimentos

Como, durante as visitas à obra, a instalação do revestimento ainda não tinha sido finalizada, apenas se puderam verificar alguns valores. No entanto, tanto a verticalidade da zona observada como o planeza do revestimento nessa mesma zona estavam de acordo com as medidas exigíveis.

b) Verificar que o excesso de material de preenchimento das juntas foi limpo

Uma vez que neste revestimento as juntas foram deixadas abertas, esta verificação não se aplica.

c) Verificar que as zonas no topo dos revestimentos estão impermeabilizadas

Dado que durante as visitas à obra, a instalação do revestimento não se encontrava finalizada e as zonas superiores ainda não tinham sido alvo dos trabalhos de reparação, não foi possível verificar este ponto.

Conclusão

Ao longo deste trabalho foram identificados e descritos os campos de aplicação dos métodos mais usados actualmente no revestimento de fachadas com placas de pedra. Foram, deste modo, abordados dois métodos de fixação directa (colagem e selagem) e três métodos de fixação indirecta de pedras a fachadas (com agrafos e pontos de argamassa, com gatos metálicos e com estrutura de suporte intermédia). Foi também abordada a compatibilidade dos diferentes tipos de fixação com os diferentes tipos de fachadas, bem como as diferenças e particularidades do uso de fixadores de chumbar ou mecânicos.

Depois, procedeu-se á descrição dos processos construtivos para uma adequada colocação das placas de pedra usando os vários métodos acima referidos. Tentou-se, dessa forma, recolher informações para a criação de um manual de aplicação sucinto, onde estivessem agrupados todos os passos e recomendações necessários para a adequada aplicação de revestimentos pétreos usando os métodos abordados neste trabalho.

Com base nesses elementos um plano de controlo de qualidade foi depois sugerido, que engloba um tronco comum aos vários tipos de fixação e controlos adicionais específicos para cada método de fixação.

Seguidamente foram descritas as principais patologias e anomalias que ocorrem, com mais frequência, neste tipo de revestimento e enumeradas as suas causas mais prováveis, havendo ainda uma breve descrição da sequencia de procedimentos que são necessários seguir para a reparação e eliminação destas patologias.

Ao longo do presente trabalho, e com o objectivo de conseguir uma perspectiva prática destas metodologias, foram realizadas várias visitas a obras onde se aplicaram fachadas revestidas a placas de pedra. Houve, no entanto, um edifício que estava a ser sujeito a obras de beneficiação das fachadas que mereceu particular atenção e que foi usado tanto na descrição de algumas anomalias como depois para a aplicação do plano de controlo de qualidade.

Da realização deste trabalho pode concluir-se que, grande parte das anomalias e patologias identificadas, resultam principalmente da incorrecta escolha dos revestimentos ou da má aplicação destes, seja por erros nas fases de concepção ou de execução. Na fase de concepção ou projecto é imprescindível a realização de um projecto completo, com o estudo do método de fixação a usar, do tipo de pedra a empregar e do seu acabamento, do dimensionamento dos fixadores e da descrição pormenorizada dos métodos construtivos a usar, incluindo as dimensões das juntas e da caixa da ar por exemplo. Também se revela importante assegurar a compatibilização do projecto elaborado para o revestimento com os outros projectos da obra, para evitar realizar fixações de placas de pedra em zonas onde hajam armaduras principais ou tubagens e para evitar também colocar placas de pedra sobre as interfaces de dois suportes de natureza diferentes

Para evitar erros na fase de execução, a correcta formação dos aplicadores e uma fiscalização atenta dos trabalhos é imprescindível. Apenas desse modo é possível garantir um correcto manuseamento dos materiais e o seguimento dos projectos e dos cadernos de encargos para a obtenção de trabalhos finais de qualidade.

Para sistematizar estas verificações pode-se usar, em obra, tanto na fase de projecto como de execução, um Plano de Controlo de Qualidade tal como o elaborado. No entanto, este Plano não pode servir de substituto ao projecto nem à descrição dos métodos construtivos. No caso da obra em estudo, o plano de controlo de qualidade revelou-se útil para sistematizar todas as verificações que devem ser realizadas. Para a correcta utilização do plano, a pessoa encarregue das verificações deve ter acesso a todos os documentos e tem de estar presente na obra. Infelizmente, tal não foi o caso na verificação do plano de controlo de qualidade efectuado na dissertação: por questões de confidencialidade não foi possível ter acesso a todos os documentos da obra; por outro lado algumas fases importantes não puderam ser acompanhadas por coincidiram com momentos em que não foi possível realizar visita presencial à obra como por exemplo o momento da chegada dos materiais.

A implementação de um plano deste tipo é uma operação altamente recomendável pois não envolve custos elevados numa obra mas que pode trazer importantes benefícios como o aumento da qualidade dos revestimentos e a diminuição de anomalias, o que se traduz num menor número de patologias ao longo da vida útil da obra. Essa redução das anomalias durante o período de garantia da obra também diminui os trabalhos de reparação que empreiteiro responsável pelos revestimentos teria de realizar, trazendo-lhe deste modo importantes economias.

Este Plano de Controlo de Qualidade pode ser mais desenvolvido com outras verificações que se entendam necessárias; apenas o acompanhamento de mais obras e o levantamento dos erros e anomalias mais comuns durante as fases de projecto e construção permitiria ter uma visão mais abrangente e assim completar o plano. O plano também poderia ainda ser alargado a outros métodos de revestimento de fachadas em pedra usados com menos frequência.

A manutenção dos edifícios e das suas fachadas é fundamental para manter a qualidade das construções e estender o período de vida útil destas. No entanto, é vulgar constatar que a manutenção dos edifícios nem sempre é feita, seja por desconhecimento dos proprietários ou por razões económicas. Deste modo, poderia ser interessante realizar um plano de manutenção de edifícios revestidos a pedra natural, onde fossem descritos as operações de manutenção que devem ser realizados e os intervalos temporais destas, para facilitar o planeamento destes trabalhos.

Bibliografia

- [1] Camposinhos, Rui - **Revestimentos de Pedra Natural com Fixação Mecânica - Dimensionamento e projecto** - Edições Silabo, Lisboa 2009
- [2] Neto, Natália Margarida Lima - **Sistemas de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural** - Dissertação para a obtenção do grau de mestre em construção, Ist Abril de 2008
- [3] Silva, Ana Filipa Ferreira - **Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes** - Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Lisboa Outubro de 2009
- [4] Laboratório Nacional de Energia e Geologia - **ORNABASE - Base de Dados do Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas** - disponível na Internet em <http://e-geo.ineti.pt/bds/ornabase/default.aspx> consulta realizada em 15 de Julho de 2010
- [5] Pinto, Alberto Cruz Reaes; Alho, António Assunção; Moura, António Augusto Casal Azevedo; Carvalho, Cristina Isabel Paulo; Ramos, João Manuel Farinha; Almeida, Nelson Calvino; Mestre, Victor - **Manual da Pedra Natural para a Arquitectura** – Cedintec, 2006
- [6] Mármore Cristóvão, disponível na Internet em <http://www.mcristovao.com/site/>, consulta realizada em 27 de Agosto de 2010
- [7] Moleanos disponível na Internet em <http://www.moleanos.com/pt/> consulta realizada em 15 de Julho de 2010
- [8] Souza, Júlio César; Lira, Belarmino Barbosa – **Tecnologia de Assentamento de Fachadas, Projeto e Ensaio Tecnológicos para Inserts Metálicos** - III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002
- [9] Camposinhos, Rui; Amaral, Pedro - **Caderno Técnico de aplicação, uso e manutenção de rochas ornamentais** – Assimagra, Julho de 2007
- [10] Correia, César – **Patologias Identificadas e Caracterizadas em Revestimentos Exteriores de Pedra Natural com Fixação Directa – Algumas Recomendações para a sua Prevenção** - Saint-Gobain Weber Cimenfix, 2003
- [11] Cahiers du CSTB - **Cahier des Prescriptions Techniques d'exécution - Revêtements de murs extérieurs en carreaux céramiques ou analogues collés au moyen de mortiers-colles en travaux neufs** - octobre 2000
- [12] Mapei - **Produtos para cerâmica e materiais pétreos**, Mapei
- [13] Correia, César - **Caracterização de eflorescências, sua natureza e mecanismos de formação em fachadas revestidas com cerâmica e pedra natural** - Saint-Gobain Weber Cimenfix SA, 1º Congresso nacional de Argamassas de Construção, Lisboa 2005

- [14] Antunes Marta; KimRosenbom J. Garcia **Anomalias na Colagem de Pedras Naturais** 1º congresso nacional de argamassas, Novembro de 2005
- [15] Weber - **O Guia Weber**, 2010
- [16] Guerra, Martins - **Revestimentos - Condições Técnicas de Execução** - Serie Materiais
- [17] Construlink - **Dossier técnico-económico fachada ventilada nº2**, Outubro 2006
- [18] Inopla – **Sistemas de fixação em inox** - disponível na Internet em <http://www.inopla.pt/site/index.php> consulta realizada em 5 Setembro de 2010
- [19] Halphen Deha - **Fixações Mecânicas para pedra - Guia técnico**, Halphen Deha
- [20] DAPCO – **Fixadores Inoxidáveis** disponível na Internet em <http://www.dapco.com.br/> consulta realizada em 20 de Julho de 2010
- [21] Escola Superior de Tecnologia de Tomar – **Revestimento para paramentos exteriores de paredes - Processos gerais de construção II** – Curso de Engenharia Civil
- [22] Veiga, Maria do Rosário – **Acção de Formação sobre Revestimentos Exteriores de paredes - CONSTRUÇÃO 2004** 2º Congresso Nacional da Construção, Dezembro de 2004
- [23] LNEC - **Documento de Homologação - Sistema de Fixação de Placas de Pedra natural para Revestimento de Paredes** – GPC Empresa de Granitos Polidos e Cantarias, Lda., Janeiro de 2007
- [24] Eclad - **The future of natural stone cladding**
- [25] Documents Techniques Unifiés - **DTU 55.2 NFP 65-202-1** – normas publicadas em Outubro de 2000
- [26] Lucas, José de Carvalho - **Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão** – LNEC, Lisboa 1990
- [27] LUCAS, J. Carvalho; ABREU, Miguel – **Revestimentos cerâmicos colados - Recomendações para a minimização do risco de descolamento** – LNEC, 2003
- [28] Granit de Guerlesquin - **Conseils et techniques de pose** – disponível na Internet em <http://www.granitdeguerlesquin.com/> consulta realizada em 17 de Julho de 2010
- [29] Serrasqueiro, Cilia Alexandra Baltazar - **Comportamento dos materiais nas interfaces de elementos construtivos - sua aplicação em fachadas** - Dissertação para a obtenção do grau de mestre , 1st Junho de 2007
- [30] Granato, José Eduardo - **Patologia das fachadas revestidas de cerâmica e granito** - Curso sobre patologias em obras de construção civil, 2003
- [31] Walsywa - **Catálogo Técnico de Fixação Química Fixação para Construção Civil**

-
- [32] Hilti - **Aplicação ilimitada em qualquer Superfície - Sistema de injeção**
- [33] *Walsywa* - **Catálogo Técnico de Fixação Mecânica - Fixação para Construção Civil**
- [34] Nakamura, Juliana - **Projeto de fachadas** – Revista Técnica 92, Novembro de 2004
- [35] Mamillan, Marc - **Novos Conhecimentos para a Utilização e para a Protecção da pedra na Construção** – ANNALES de l’Institut Technique du batiment e des Travaux Publics nº 335, Janeiro de 1976
- [36] Sika - **Guia da Construção**, Sika
- [37] Flores-Colen, Inês; Brito, Jorge; Branco, Fernando - **Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento** - 2º Congresso nacional de argamassas de construção, Lisboa 2007
- [38] Hesselbarth, Frank; Rosenbom, Kim; Garcia, João; Antunes, Marta – **Pedra Natural - Um Material Único** – 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, 2006
- [39] Revista **ROCHAS & Equipamentos**, disponível na Internet em <http://www.rochas-equip.com/po/noticias.html>, consulta realizada em 7 de Agosto de 2010
- [40] Patorreb – **Manchas na Fachada em Granito de uma habitação Unifamiliar** – Patorreb Ficha 43
- [41] Patorreb – **Descolamento do Revestimento em Placas de Pedra Aplicado em Fachadas** – Patorreb Ficha 87

Anexo

Fichas de Verificação e Controlo

Ficha de verificação e controlo	1 - Verificações Gerais para todos os tipos de métodos de fixação
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:
1.1 - Aspectos a verificar antes do início da obra	

	Verifica	Data	CrITÉRIOS de aceitação	Observações
a) Verificar que existe um projecto de revestimento de fachadas completo			O projecto de revestimento de fachadas contém a descrição completa dos métodos de revestimento adoptados, o tipo de material necessário e suas quantidades, as dimensões das pedras a encomendar e a localização das fixações e das juntas entre pedras.	
b) Verificar acessibilidade dos trabalhadores e segurança dos andaimes			Os trabalhadores têm um acesso seguro e desimpedido ao exterior das fachadas, com andaimes solidamente ligados á estrutura do edifício e dimensão adequadas ao transporte das pedras.	
c) Verificar a existência e uso dos equipamentos de protecção			Os trabalhadores usam capacetes e calçado de segurança.	
d) Verificar que os materiais necessários foram encomendados nas quantidades adequadas para as fases da obra em curso			Existe quantidade suficiente de placas de pedra e de materiais de fixação necessários para a fase da obra em curso.	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	1 - Verificações Gerais para todos os tipos de métodos de fixação
Obra:	Descrição do material verificado:
1.2 - Aspectos a verificar aquando da chegada dos materiais à obra	

Materiais pétreos	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Verificar que as placas de pedra são as encomendadas			O material pétreo e os acabamentos deste são os indicados nos mapas de acabamentos e nos cadernos de encargos.	
b) Verificar que os materiais entregues têm a marcação CE e a denominação da pedra			Todos os materiais pétreos recebidos e aplicados em obra têm a marcação CE, a denominação da pedra, a massa e as dimensões das placas.	
c) Verificar que as pedras têm as dimensões correctas de acordo com as tolerâncias admitidas			As pedras recebidas têm as dimensões requeridas de acordo com as tolerâncias admitidas, nomeadamente no que diz respeito á sua espessura, dimensões laterais, esquadria, planeza e á localização e dimensão dos furos de ancoragem	
d) Verificar que os materiais estão em boas condições			As pedras não apresentam empenamentos, saliências, fendas, cavidades, variações de tonalidade de cor não características da natureza da pedra, defeitos dissimulados ou tapados com betume	
e) Verificações a efectuar quando se aplicam granitos			Os granitos não têm os cristais de feldspato demasiado grosso nem mica em grande quantidade.	
f) Verificações a efectuar quando se aplicam mármore			Os mármore	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	1 - Verificações Gerais para todos os tipos de métodos de fixação
Obra:	Descrição do material verificado:
1.2 - Aspectos a verificar aquando da chegada dos materiais à obra	

Materiais de fixação	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Verificar que os materiais de fixação são os encomendados			As colas e materiais de colagem são os que estão referenciados no projecto, e os materiais usados para as fixações indirectas estão em conformidade com a encomenda feita (tipo de aço, marcas e modelos dos fixadores).	
b) Verificar que os materiais de fixação estão em bom estado			As embalagens das colas estão fechadas e seladas, dentro das embalagens de origem, com a data de validade válida. As fixações indirectas não têm sinais de corrosão, e as soldaduras têm aspecto homogéneo e sem porosidade.	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	1 - Verificações Gerais para todos os tipos de métodos de fixação
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:
1.3 - Aspectos a verificar nas fachadas onde as placas de pedra vão ser aplicadas	

	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Os suportes estão limpos e prontos a receber os revestimentos			As superfícies não têm elementos soltos, encontram se limpas de gorduras(óleos descofrantes) e partículas em suspensão (poeiras).	
b) Verificar as condições das fachadas no que diz respeito á planeza			O suporte não tem desvios significativos de planeza, desníveis ou reentrâncias.	
c) Assegurar que os locais onde são realizadas operações que fazem pó estão afastadas da zona onde se está a instalar o revestimento			Não existem fontes importantes de pó junto a fachadas não protegidas.	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	1 - Verificações Gerais para todos os tipos de métodos de fixação
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:
1.4 - Aspectos a verificar durante a execução da obra	

	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Garantir que os trabalhos são fiscalizados			Existe uma adequada fiscalização, com supervisores presentes em obra e conhecedores do projecto de revestimentos e das boas práticas para a realização de um revestimento com qualidade.	
b) Garantir que se usam produtos de colagem adequados às pedras que vão ser usadas			Os produtos de colagem usados não mancham as pedras(produtos para colar as pedras, para o preenchimento dos orifícios dos pinos das pedras ou para os pontos de argamassa).	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	2 - Fixação directa: Verificações específicas
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:

	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Foi respeitado o tempo de secagem do cimento do suporte antes de aplicar o revestimento			Foi respeitado um período de cura do betão antes de colocar o revestimento de cerca de 2 meses para alturas inferiores a 2,5 metros e de cerca de 3 meses para alturas superiores quando o suporte é uma parede de betão e de 3 semanas para paredes de alvenaria.	
b) A planeza do suporte é adequada para aplicar um revestimento por fixação directa			É exigida uma planeza geral com desvios máximos de 5 mm avaliados com uma régua de 2 metros e uma planeza localizada com desvios máximos de 2 mm avaliados com uma régua de 0,20 metros.	
c) O suporte e o tardo das placas de pedra tem rugosidade adequada			O suporte e o tardo das placas de pedra apresentam uma rugosidade adequada, não estando demasiado lisos nem demasiado rugosos.	
d) Garantir que uma placa de pedra é colada apenas a um tipo de suporte			Cada placa de pedra está colada a apenas um suportes e todas as juntas de dilatação ou mudanças de suporte são acompanhadas por uma junta no revestimento de pedra.	
e) As indicações sobre o estado do suporte e das pedras fornecidos pelo fabricante das colas foram cumpridas			As instruções do fabricante sobre o estado do suporte e das pedras (seco ou húmidos) foram cumpridas.	
f) As condições atmosféricas são compatíveis com o trabalho a efectuar			Não se pode aplicar este tipo de revestimento quando a temperatura for superior a 30°C ou inferior a 5°C, quando existe gelo no suporte, com níveis de humidades muito altos, com ventos muito fortes ou sobre a incidência directa de raios solares ou de água.	

g) As indicações sobre o modo de preparação e tempo de abertura dos materiais de colagem fornecidos pelo fabricante são cumpridos			As dosagens e tempos de abertura dos produtos de colagem e os tempos e velocidade das mistura são cumpridos.	
h) Verificar que os cordões de cola são esmagados aquando da aplicação da pedras			A área mínima de cordões de cola completamente esmagados é superior a 85% da superfície total da placa.	
i) Garantir que são deixadas juntas adequadas entre as pedras			As juntas entre pedras têm uma espessura mínima de 4 mm, respeitam as zonas de singularidades e de mudança de material de revestimento e as juntas de dilatação do edifício. Existem juntas horizontais de fraccionamento espaçadas de 6 em 6 metros e juntas verticais de fraccionamento de 10 e 10 em zonas de grandes áreas revestidas onde não se tenham considerado a existência de juntas de dilatação ou de juntas entre materiais.	
j) Respeitar os tempos de preenchimento das juntas entre pedras			O tempo entre a aplicação do revestimento e o preenchimento das juntas entre pedras é superior a 48.	
l) Verificar que não existem espaços vazios entre o revestimento e o suporte			Ao bater com um martelo de borracha nas pedras, o som da pancada não pode soar a oco.	

Resultado da Inspeção

Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:
-----------------------------------	--------------	---------------------------------------	-------------

Ficha de verificação e controlo	3 - Fixação indirecta: Verificações específicas
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:

	Verifica	Data	Crítérios de aceitação	Observações
a) Verificar compatibilidade entre projecto de revestimento e projectos de outras especialidade			Foi verificado que não se vão realizar os furos para os chumbadouros em zonas onde passem tubos ou armaduras principais.	
c) Os furos dos chumbadouros foram feitos correctamente			Os furos são perpendiculares á fachada e foram limpos e humedecidos com água antes de serem preenchidos.	
d) As pedras estão devidamente niveladas			As fiadas de pedra estão niveladas na horizontal.	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	3 - Fixação indirecta: Verificações específicas
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:
3.1 - Agrafos e pontos de Argamassa	

	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado			Os furos têm pelo menos 60mm de profundidade e um diâmetro mínimo de 40 mm.	
b) Os furos nas placas de pedra têm o tamanho e localização adequados			O eixo dos furos coincide com o eixo da espessura da placa para placas com menos 30 mm de espessura ou a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior para placas mais espessas. Os furos têm um diâmetro superior em cerca de 1mm ao do diâmetro necessário para o agrafos, com uma profundidade de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafos, com um mínimo de 30 mm de profundidade	
c) Os furos nas placas de pedra foram devidamente preenchidos			Os furos nas pedras foram limpos (e humedecidos com água, caso se use calda de cimento) antes de serem totalmente preenchidos.	
d) São deixadas juntas adequadas entre as pedras			As juntas entre pedras têm uma espessura mínima de 4 mm e uma espessura máxima de 1/3 da espessura da placa aplicada, respeitam as zonas de singularidades, de mudança de material de revestimento ou nas juntas de dilatação do edifício. Existem juntas horizontais de fraccionamento espaçadas de 3 em 3 metros e juntas verticais de fraccionamento de 6 e 6 em zonas de grandes áreas revestidas onde não se tenham considerado a existência de juntas de dilatação ou de juntas entre materiais.	
e) Os tempos de secagem das argamassas são respeitados			Esperou-se o tempo necessário para garantir que os chumbadouros e os pontos de argamassa estão devidamente secos antes de prosseguir com a colocação das pedras nas fiadas superiores.	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:

Ficha de verificação e controlo	3 - Fixação indirecta: Verificações específicas
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:
3.2 - Gatos Metálicos	

	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado			Os furos dos chumbadouros têm pelo menos 80mm de profundidade e um diâmetro mínimo de 40 mm.	
b) Os furos nas placas de pedra têm o tamanho adequado			O eixo dos furos coincide com o eixo da espessura da placa para placas com menos 30 mm de espessura ou a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior para placas mais espessas. Os furos têm um diâmetro superior em cerca de 1mm ao do diâmetro necessário para o agrafio, uma profundidade de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafos, com um mínimo de 30 mm de profundidade.	
c) Os furos nas placas de pedra foram devidamente preenchidos			Os furos estão limpos (poeiras), foram humedecidos com água (caso se use calda de cimento), foram totalmente preenchidos. Nos furos inferiores aplicou-se cola ou silicone para solidificar as pedras aos pinos e nos furos superiores usaram-se camisas plásticas.	
d) Garantir que são deixadas juntas de tamanho adequado entre as pedras			As juntas entre pedras têm uma espessura mínima de 5 a 6 mm e uma espessura máxima de 1/3 da espessura da placa aplicada, respeitam as zonas de singularidades, de mudança de material de revestimento ou nas juntas de dilatação do edifício. Existem juntas horizontais e verticais de fraccionamento que delimitam painéis de áreas mais reduzidas.	
e) Os tempos de secagem do cimento ou das argamassas são respeitados			A amassadura do cimento rápida é feita em pequenas quantidades. O cimento ou argamassas dos chumbadouros está suficientemente seco na altura de colocar as pedras.	
f) A caixa de ar é de dimensões adequadas e está desobstruída			O espaço de caixa de ar está limpo de restos de cimento ou argamassa, e a distância mínima entre o isolamento térmico e os elementos pétreos (ou entre as pedras e a o suporte do edifício caso não haja isolamento) é de 20 mm.	

g) Os gatos com fixação mecânica estão correctamente instalados		As fixações mecânicas estão correctamente instaladas de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante (força de aperto aplicada nos parafusos por ex.) A distancia mínima entre um fixador mecânico e a borda das paredes de betão é no mínimo igual a 1,5 vezes á profundidade a que este foi embutido e o distanciamento entre fixadores respeita uma distância mínima entre eles de 3 vezes a profundidade de embutimento.	
---	--	---	--

Resultado da Inspeção

Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:
-----------------------------------	--------------	---------------------------------------	-------------

Ficha de verificação e controlo	3 - Fixação indirecta: Verificações específicas
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:
3.3 - Estrutura Intermédia de Suporte	

	Verifica	Data	Critérios de aceitação	Observações
a) Garantir que a cada parte da estrutura intermédia é fixa apenas a um tipo de suporte			A estrutura intermédia de suporte está fixa apenas a um suporte (do mesmo material e sem juntas de dilatação)	
b) Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado			Os furos têm as dimensões adequadas recomendadas pelo fabricante da estrutura metálica de suporte das pedras.	
c) Nas estruturas sem elementos horizontais os furos ou calhas nas placas de pedra têm o tamanho adequado e foram feito correctamente			Em placas de pedra fixas com recurso a pinos, o eixo destes deve coincidir com o eixo da espessura da placa para placas com menos 30 mm de espessura ou a 1/3 da espessura contada a partir do paramento exterior para placas mais espessas. Os furos têm um diâmetro superior em cerca de 1mm ao do diâmetro necessário para o agrafos, uma profundidade de 5 mm superior ao comprimento de inserção dos agrafos, com um mínimo de 30 mm de profundidade. Os furos foram limpos e humedecidos com água(caso se use calda de cimento) antes de serem preenchidos. Nos furos inferiores aplicou-se cola ou silicone para solidificar as pedras aos pinos e nos furos superiores usaram-se camisas plásticas.	
d) Nas estruturas com elementos horizontais os furos ou calhas nas placas de pedra têm o tamanho adequado e foram feito correctamente			Em placas de pedra fixas com clips que penetram em calhas nas pedras, o eixo das calhas coincide com o eixo da espessura da placa e a calha tem uma espessura de 1 cm. Em zonas de juntas abertas foi efectuada uma reentrância no meio do tardo da parte superior da pedra, na zona da fenda.	

e) A caixa de ar está desobstruída Os furos dos chumbadouros têm o tamanho adequado e foram feitos correctamente			A caixa de ar tem dimensões adequadas e está limpa de restos de cimento ou argamassa. Os furos dos chumbadouros têm as dimensões adequadas de acordo com a estrutura de suporte que se vai instalar, foram limpos e humedecidos com água antes de serem preenchidos.	
f) Os tempos de secagem do cimento ou das argamassas de preenchimento dos chumbadouros são respeitados			A amassadura do cimento rápida é feita em pequenas quantidades. O cimento ou argamassas dos chumbadouros está suficientemente seco na altura de colocar as pedras na estrutura.	
g) Os fixadores mecânicos da estrutura estão correctamente instalados			As fixações mecânicas estão correctamente instaladas de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante (força de aperto aplicada nos parafusos por ex.) A distancia mínima entre um fixador mecânico e a borda das paredes de betão é no mínimo igual a 1,5 vezes a profundidade a que este foi embutido e o distanciamento entre fixadores respeita uma distância mínima entre eles de 3 vezes a profundidade de embutimento.	
h) A estrutura de suporte está devidamente nivelada			A estrutura de suporte intermédia está nivelada, (elementos horizontais estão nivelados) e os elementos verticais estão em esquadria com os horizontais.	

Resultado da Inspeção

Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data:
-----------------------------------	--------------	---------------------------------------	-------------

Ficha de verificação e controlo	4 - Verificações finais gerais após a aplicação do revestimento
Obra:	Orientação ou descrição da fachada verificada:

	Verifica	Data	CrITÉRIOS de aceitação	Observações
a) Os paramentos cumprem, com as tolerâncias permitidas, o projecto de revestimentos			Os paramentos, depois de acabados, têm uma tolerância máxima na implantação e nas cotas principais de 5 mm, um desvio de esquadria máximo de 10 mm, e um desvio na verticalidade máximo de 4 mm na altura de um andar. O paramento tem um empenamento máximo de 1 mm em relação á régua de 0,2 mm e de 2 mm em relação á régua de 2,00 m em qualquer direcção.	
b) Verificar que o excesso de material de preenchimento das juntas foi limpo			Em zonas onde as juntas entre pedras são preenchidas, o excesso de material de preenchimento foi limpo.	
c) Verificar que as zonas no topo dos revestimentos estão impermeabilizadas			As zonas nos topos superiores dos revestimentos encontram-se impermeabilizadas.	

Resultado da Inspeção			
Conforme <input type="checkbox"/>	Ass. e Data:	Não Conforme <input type="checkbox"/>	Ass e Data: