

CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS EXTERIORES ATRAVÉS DE ENSAIOS DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO

ANDRÉ MIGUEL DA SILVA VIEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À Fátima
E aos meus Pais

If you cannot measure it, you cannot improve it.

Lord Kelvin

AGRADECIMENTOS

Agora que este trabalho está concluído gostaria de agradecer a todos os que me apoiaram na sua realização ao longo destes meses.

Em primeiro lugar tenho que destacar o apoio e confiança do meu orientador, Prof. Nuno Ramos. O seu incentivo e compreensão foram fundamentais para que conseguisse atingir os objectivos que estabelecemos.

À Eng. Inês Flores-Colen agradeço a partilha de conhecimento e a documentação enviada.

À Prof. Maria de Lurdes Simões pelos esclarecimentos relacionados com a análise estatística da amostra.

Agradeço aos meus amigos pela preocupação, incentivo, companheirismo e pela partilha dos momentos difíceis e dos outros que fizeram tudo parecer possível e simples.

Agradeço aos meus pais e irmã por todo o apoio que me deram e continuarão a dar na minha vida académica e pessoal. Por me terem dado a oportunidade de alcançar este objectivo.

Por fim agradeço à Fátima, pelo carinho e pela confiança que sempre depositou em mim e me deu força para continuar. Por permitir a minha ausência durante estes meses. Pelo cuidado e dedicação na revisão deste texto e pela vontade de conhecer e compreender a linguagem da construção.

Obrigado!

RESUMO

A procura de soluções de revestimento inovadoras, que cumpram, além das suas tradicionais funções, as crescentes exigências em termos térmicos e acústicos, tem levado à utilização de novos materiais cujas características a longo prazo nem sempre são bem conhecidas.

Tendo em conta que a aderência é uma das principais características a exigir a um revestimento, o ensaio de arrancamento por tracção – *pull-off*, assume uma importância primordial nesta área do conhecimento.

Este é um método recomendado nas normas técnicas e habitualmente referido na comunidade científica para quantificar a aderência, e consequentemente o desempenho em serviço dos revestimentos. A norma americana ASTM E2270-05 recomenda a execução de, no mínimo, três testes de arrancamento por paramento aquando de uma inspecção detalhada.

Esta metodologia apresenta diversas vantagens, nomeadamente o custo da sua aplicação, o tipo de resultados que fornece e sua fiabilidade, o facto de não necessitar de análise laboratorial e a possibilidade de obter informação quantitativa acerca da aderência, permitindo a sua monitorização ao longo do tempo. São também apontadas algumas desvantagens que passam essencialmente pelo facto de se tratar de uma técnica de ensaio destrutiva que obriga a reparações nas zonas ensaiadas. O tempo necessário para aplicação da técnica e a necessidade de meios auxiliares de acesso são outras limitações apontadas.

Um dos objectivos deste trabalho é conhecer o ensaio de arrancamento por tracção, suas características, procedimentos, e sobretudo suas limitações e campo de aplicação. Procedeu-se a uma revisão bibliográfica sobre o tema, incidindo principalmente nas normas que regem a realização do ensaio e na quantificação dos resultados expectáveis aquando da sua aplicação a diversos materiais.

A análise da qualidade dos resultados fornecidos pelo ensaio de arrancamento por tracção constitui outro dos objectivos do trabalho. Para quantificação deste parâmetro foi estudada uma amostra composta por 23 boletins de ensaio realizados pelo LFC-FEUP, que representam 19 inspecções *in-situ* e 4 estudos laboratoriais.

Em cada um destes estudos foi possível identificar diferentes situações, quer ao nível dos materiais de revestimentos e de suporte, quer nos procedimentos de ensaio seguidos. Assim optou-se por subdividir os dados dos boletins de ensaio em grupos. Assim sendo, estamos perante uma amostra de 84 casos de estudo, correspondendo a 63 ensaios *in-situ* e 21 ensaios laboratoriais.

A análise efectuada permitiu confirmar a adequabilidade do ensaio de arrancamento por tracção na avaliação da aderência de sistemas de revestimento.

PALAVRAS-CHAVE: aderência, revestimento, ensaio, arrancamento, diagnóstico.

ABSTRACT

The demand for innovative coating solutions, satisfying not only its traditional functions but also increasing standards in thermal and acoustic regulations, has led to the use of new materials whose long-term characteristics are not always well known.

Given that adhesion is one of the main features to require a coating, the pull-off test is of great importance in this area of knowledge.

This method of test is recommended in codes and commonly referred to in scientific publications to quantify adhesion, and consequently to appraise the in service performance of coatings. American standard ASTM E2270-05 recommends that at least three *pull-off* tests must be carried out during a detailed inspection.

This methodology presents several advantages, including the cost of its implementation, the type of results provided and their reliability, the fact that it does not require laboratory analysis and the possibility to obtain quantitative information about the bond strength which allows monitoring over time. Some disadvantages have also been pointed, especially the fact that it is a destructive technique that requires repairs in the tested areas. The duration of the technique's application and the need for auxiliary means of access are other limitations of the method.

One of the objectives of this work was to gather information about the *pull-off* test technique, its features, procedures, and especially its limitations and scope. There was a literature review on the subject, focusing mainly on rules governing the conduct of the trial and the quantification of expected results when applied to different materials.

The analysis of the quality of results provided by *pull-off* test is another of the objectives of this work. To quantify this parameter a sample consisting of 23 test reports conducted by LFC-FEUP was studied. The sample consisted on 19 in-situ inspections and 4 laboratory studies. In each of these reports different situations were identified in terms of materials, coatings and support, and in testing procedures followed. Therefore the results in each test report were divided in 84 case studies, corresponding to 63 in-situ tests and 21 laboratory tests.

The analysis performed has confirmed the *pull-off* test adequacy in the assessment of coating systems' adhesion.

KEYWORDS: adhesion, wall coating, pull-off, test, assessment.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS	2
1.3. ESTRUTURA	3
2 ESTADO DA ARTE	5
2.1. ADERÊNCIA	5
2.2. PRINCIPAIS ANOMALIAS DE REVESTIMENTOS E SUA CORRECÇÃO	6
2.3. DIAGNÓSTICO DA ADERÊNCIA DE SISTEMAS DE REVESTIMENTO	8
2.3.1. AMOSTRAGEM	10
2.3.2. PROCEDIMENTO	10
2.4. NORMAS DE ENSAIO	12
2.4.1. LNEC FE PA36	12
2.4.2. EN 1015-12	13
2.4.2.1. Referências externas	13
2.4.2.2. Equipamento experimental	13
2.4.2.3. Amostragem e preparação de amostras	14
2.4.2.4. Procedimento de ensaio	15
2.4.2.5. Resultados	15
2.4.2.6. Relatório de ensaio	16
2.4.3. RECOMENDAÇÃO RILEM MDT. D.3	17
2.4.4. EN 1348	17
2.4.4.1. Referências externas	17
2.4.4.2. Equipamento experimental	18
2.4.4.3. Amostragem e preparação de amostras	18
2.4.4.4. Procedimento de ensaio	19
2.4.4.5. Resultados	20

2.4.4.6. Relatório de ensaio	20
2.4.5. ASTM D 4541-2	20
2.4.5.1. Referências externas	22
2.4.5.2. Equipamento experimental	22
2.4.5.3. Amostragem e preparação de amostras	22
2.4.5.4. Procedimento de ensaio	23
2.4.5.5. Resultados	23
2.4.5.6. Relatório de ensaio	23
2.4.6. ETAG 004	23
2.4.6.1. Aderência entre camada de base e o isolante térmico	24
2.4.6.2. Aderência entre produto de colagem e o suporte	24
2.4.6.3. Aderência entre produto de colagem e o isolamento	25
2.5. VALORES DE REFERÊNCIA	25
2.5.1. REBOCOS.....	25
2.5.2. CIMENTOS-COLA.....	25
2.5.3. ETICS	27
2.5.4. QUADRO RESUMO	28
2.6. FACTORES QUE CONDICIONAM A FIABILIDADE DOS RESULTADOS	28
2.6.1. AMOSTRAGEM	29
2.6.2. PRODUTO DE COLAGEM DAS PASTILHAS METÁLICAS.....	30
2.6.3. TÉCNICA DE PRÉ-CORTE E PASTILHAS METÁLICAS UTILIZADAS	31
2.6.4. IDADE DO SISTEMA	32
2.7. POTENCIALIDADES DO ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO.....	33
 3 AMOSTRA – ENSAIOS REALIZADOS PELO LFC-FEUP	 35
3.1. ENQUADRAMENTO	35
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	37
3.3. FICHAS DE ENSAIO	39
 4 ANÁLISE DA AMOSTRA	 65
4.1. ENQUADRAMENTO	65
4.2. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA	65
4.2.1. CIMENTOS-COLA.....	65

4.2.2. REBOCOS	68
4.2.3. OUTROS REVESTIMENTOS	69
4.2.4. DEPENDÊNCIA FACE À EXPOSIÇÃO SOLAR	69
4.2.5. DEPENDÊNCIA FACE AO SUPORTE.....	71
4.3. PATOLOGIAS Vs ENSAIO	71
4.4. IMPORTÂNCIA DO TIPO DE ROTURA	73
4.5. ANÁLISE DA DISPERSÃO DE RESULTADOS.....	75
4.5.1. EFEITO DO PRÉ-CORTE NA VARIAÇÃO DOS RESULTADOS	75
4.5.2. INFLUÊNCIA DO SUPORTE	79
4.5.3. INFLUÊNCIA DO TIPO DE REVESTIMENTO.....	81
4.5.4. VARIABILIDADE Vs ORIENTAÇÃO SOLAR	84
4.5.5. VARIABILIDADE Vs DIMENSÃO DA AMOSTRA	85
 5 CONCLUSÕES	 89
5.1. CONCLUSÕES GERAIS	89
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	91
 Referências Bibliográficas	 93

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Marcação CE. Exemplo de etiqueta do fabricante / cimentos-cola	2
Fig. 2 – Mecanismo de aderência mecânica de revestimentos ao suporte [6]	5
Fig. 3 – Factores que influenciam a aderência das argamassas sobre base porosa (adaptado de [8])	6
Fig. 4 – Métodos de ensaio e arrancamento "in-situ" [7]	8
Fig. 5 – Etapas da realização do ensaio de arrancamento por tracção	12
Fig. 6 – Anel circular de pré-corte aplicado a argamassas frescas	14
Fig. 7 – Padrões de rotura previstos [15]	16
Fig. 8 – Cubo de 20 N [7]	18
Fig. 9 – Equipamento de ensaio de aderência com alinhamento fixo do <i>Tipo I</i> [17]	21
Fig. 10 – Equipamentos de ensaio de arrancamento por tracção dos tipos II a V [17]	21
Fig. 11 – Mecanismo de alinhamento automático equipamento de ensaio do <i>Tipo V</i> [17]	22
Fig. 12 – Constituição do sistema de isolamento térmico pelo exterior ETICS [19]	24
Fig. 13 – Padrões de rotura e suas denominações [5]	27
Fig. 14 – Cadeia de incerteza associada às decisões [21]	29
Fig. 15 – Distribuição dos provetes pelo elemento em análise, provete sobre junto de assentamento, provete sobre bloco de alvenaria e provetes com posição desconhecida sobre revestimento acabado (adaptado de [23])	30
Fig. 16 – Provetes após ensaio de arrancamento sem aplicação de pré-corte. Comparação entre secção extraída com a aplicação de cola de poliéster e cola epoxy	31
Fig. 17 – Distribuição de tensões na interface argamassa suporte para provetes com diferentes dimensões e formas [23]	31
Fig. 18 – Evolução dos valores de resistência de aderência de revestimento aplicado sobre blocos de betão [25]	32
Fig. 19 – Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural - Modelo de Previsão [26]	33
Fig. 20 – Dimensão da amostra em termos de tipo de revestimento	37
Fig. 21 – Revestimentos de fachada em Portugal, dados dos Censos 2001 [28]	38
Fig. 22 – Dimensão da amostra em função do tipo suporte	38
Fig. 23 – Exemplo de ficha de ensaio com identificação das suas partes	40
Fig. 24 – Exemplo de gráfico contido nas fichas de ensaio	41
Fig. 25 – Síntese dos resultados obtidos para revestimentos descontínuos aderentes	66
Fig. 26 – Destacamento de elementos cerâmicos do revestimento de fachada [39]	67
Fig. 27 – Excerto da Fig. 25 referente ao caso de estudo 23B	67

Fig. 28 – Provetes em que não foi possível realizar o ensaio	68
Fig. 29 – Síntese dos resultados obtidos para paramentos rebocados	68
Fig. 30 – Síntese dos resultados obtidos para paramentos com revestimento ETICS e rebocos interiores	69
Fig. 31 – Variação da tensão de aderência em função da orientação e tipo de revestimento	70
Fig. 32 Análise comparativa da tensão de aderência nos paramentos norte e sul das fichas de ensaio 2, 14 e 21	70
Fig. 33 – (esquerda) Fissuras nas paredes laterais de corpos em balanço [47] e (direita) em zona corrente da parede do r/ chão da fachada Sul [48]	72
Fig. 34 – Fissuração, destacamento e queda de ladrilhos cerâmicos [49]	72
Fig. 35 – Número de ocorrências de cada tipo de rotura em função do tipo de suporte	73
Fig. 36 – Análise da tensão de rotura média por tipo de rotura em ensaios <i>in-situ</i> e em laboratório ...	74
Fig. 37 – Exemplo de ensaio com grande número de roturas pela cola FICHA DE ENSAIO N.º: 4	74
Fig. 38 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função do tipo de rotura	75
Fig. 39 – Análise dos tipos de pré-corte utilizados	76
Fig. 40 – Exemplos de apoios utilizados para auxiliar na delimitação do provete, em parede [23].....	76
Fig. 41 – Percentagem de ocorrência de cada tipo de rotura em função da técnica de pré-corte realizada	77
Fig. 42 – Análise do efeito do pré-corte aplicado na variação da tensão de aderência	78
Fig. 43 – Exemplo de resultados de ensaio de arrancamento em que foram executados dois tipos de pré-corte.....	78
Fig. 44 – Análise do número de arrancamento realizados em cada tipo de suporte	79
Fig. 45 – Percentagem de ocorrência de cada tipo de rotura em função do tipo de suporte	80
Fig. 46 – Análise da tensão de aderência média obtida em cada tipo de suporte.....	80
Fig. 47 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função do tipo de suporte	81
Fig. 48 – Análise do número de arrancamentos efectuados, em função do tipo de revestimento	82
Fig. 49 – Percentagem de ocorrência de cada tipo de rotura em função do tipo de revestimento.....	83
Fig. 50 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função do tipo de revestimento	83
Fig. 51 – Número de arrancamentos efectuados por orientação solar	84
Fig. 52 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função da orientação solar	85
Fig. 53 – Análise do número de amostras válidas	86
Fig. 54 – Análise da variabilidade da tensão de aderência com o número de amostras ensaiadas para cada grupo de revestimentos	86

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de rotura das ligações ladrilho-cola-suporte e suas causas [7].....	7
Quadro 2 – Avaliação da adequação da aplicação do ensaio de arrancamento em inspecções <i>in-situ</i> [12].....	10
Quadro 3 – Ritmo de aplicação da carga em função do valor esperado da tensão de aderência.....	15
Quadro 4 – Valores de referência da tensão de aderência para cimentos-cola [5].....	26
Quadro 5 – Valores de referência para a tensão de aderência.....	27
Quadro 6 – Valores de referência para a tensão de aderência.....	28

ÍNDICE DE FICHAS DE ENSAIO

FICHA DE ENSAIO N.º: 1.....	42
FICHA DE ENSAIO N.º: 2.....	43
FICHA DE ENSAIO N.º: 3.....	44
FICHA DE ENSAIO N.º: 4.....	45
FICHA DE ENSAIO N.º: 5.....	46
FICHA DE ENSAIO N.º: 6.....	47
FICHA DE ENSAIO N.º: 7.....	48
FICHA DE ENSAIO N.º: 8.....	49
FICHA DE ENSAIO N.º: 9.....	50
FICHA DE ENSAIO N.º: 10	51
FICHA DE ENSAIO N.º: 11	52
FICHA DE ENSAIO N.º: 12	53
FICHA DE ENSAIO N.º: 13	54
FICHA DE ENSAIO N.º: 14	55
FICHA DE ENSAIO N.º: 15	56
FICHA DE ENSAIO N.º: 16	57
FICHA DE ENSAIO N.º: 17	58
FICHA DE ENSAIO N.º: 18	59
FICHA DE ENSAIO N.º: 19	60
FICHA DE ENSAIO N.º: 20	61
FICHA DE ENSAIO N.º: 21	62
FICHA DE ENSAIO N.º: 22	63
FICHA DE ENSAIO N.º: 23	64

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

σ_a – Tensão de aderência [MPa]

$\sigma_a^{\text{média}}$ – Tensão de aderência média de um ensaio [MPa]

r^2 – coeficiente de correlação

CE – Conformidade Europeia (Conformité Européenne)

dp – Desvio padrão

LFC-FEUP – Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RILEM – International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Um dos resultados da era tecnológica em que vivemos é que todos os processos industriais têm vindo a ser refinados e optimizados numa tentativa constante de melhorar a sua eficiência. A indústria da construção não foge a esta tendência. O objectivo de qualquer equipa de projecto é conceber estruturas ao menor custo e construí-las o mais rapidamente possível. Esta visão tem conduzido a projectos bem sucedidos em que o cliente recebe um produto final economicamente viável. Existem no entanto situações em que o produto final não satisfaz as especificações requeridas, levando a que o cliente final incorra em custos acrescidos para rectificar estes problemas [1].

Muitos têm sido os estudos realizados na área da durabilidade e avaliação do desempenho de materiais e sistemas de construção visando a melhoria do conhecimento nesta área. A definição de critérios de desempenho que permitam avaliar a capacidade das soluções construtivas em satisfazer as funções para as quais foram concebidas é fundamental. A avaliação de parâmetros de comportamento no período inicial da vida deve ser orientada para a tentativa de prever o comportamento dos materiais e sistemas a longo prazo.

A avaliação do desempenho de elementos da construção inclui a definição das funções, das exigências funcionais, das características de desempenho, de requisitos (regulamentares e adicionais) e da aplicação de métodos de verificação. A satisfação dos critérios de desempenho definidos depende significativamente dos métodos de verificação disponíveis para a sua avaliação [2].

A envolvente exterior, devido à sua importância tanto no desempenho térmico e acústico dos edifícios, como na sua imagem, é dos órgãos que mais preocupações levantam ao nível da durabilidade. Ao mesmo tempo, a sua permanente exposição às acções externas e o seu papel de protecção das alvenarias levam a que sejam frequentemente alvo de intervenções [3].

No passado a generalidade das paredes era revestida com rebocos tradicionais. Com o passar dos anos, as evoluções tecnológicas e a crescente dificuldade em conseguir mão-de-obra capaz de realizar rebocos com qualidade, fizeram surgir vários tipos de acabamento que rapidamente ganharam significado na construção nacional. Entre esses revestimentos destacam-se os ladrilhos cerâmicos, as placas de pedra natural, ambos fixados por colagem (placas de pedra de maiores dimensões são frequentemente fixadas mecanicamente), os revestimentos monocamada, as paredes de alvenaria à vista e os sistemas de isolamento térmico pelo exterior [4].

A qualidade dos revestimentos é fundamental para assegurar as condições de habitabilidade e conforto dos locais onde vivemos e trabalhamos. A escolha da solução de parede deve ser feita como um todo, assegurando a compatibilidade entre as diferentes camadas do sistema, tanto ao nível das suas proprie-

dades físicas (por exemplo planeza e capacidade de suporte), como ao nível das propriedades químicas.

O desempenho dos vários componentes dos sistemas de revestimento é avaliado no momento da aplicação. A marcação CE impõe características de desempenho no momento inicial, que apesar de importantes não são suficientes para assegurar o desempenho do produto durante o seu período de vida útil.

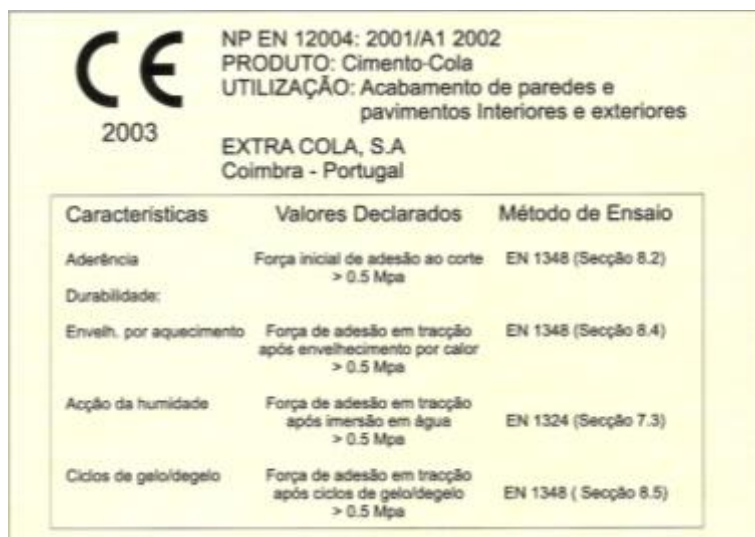


Fig. 1 – Marcação CE. Exemplo de etiqueta do fabricante / cimentos-cola

Apesar do grande desenvolvimento da indústria da construção, e das preocupações com a qualidade dos materiais e processos construtivos, os problemas relacionados com os revestimentos exteriores são hoje uma patologia grave e frequentemente observável tanto nos primeiros anos de utilização, como após longos períodos de desempenho satisfatório.

1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS

A procura de soluções de revestimento inovadoras, que cumpram, além das suas funções tradicionais, as crescentes exigências em termos térmicos e acústicos, tem levado à utilização de novos materiais cujas características a longo prazo nem sempre são bem conhecidas. Aliada a estas necessidades estão requisitos estéticos e arquitectónicos cada vez mais rigorosos.

Estas preocupações levam a que vários investigadores tenham direccionado os seus estudos para a análise da durabilidade dos materiais, criando modelos de degradação que forneçam informação acerca da evolução do comportamento de novos materiais. Estes modelos são baseados no cruzamento de dados de inspecções, modelações teóricas e ensaios laboratoriais ou de campo.

Tendo em conta que a aderência é uma das principais características a exigir a um revestimento, o ensaio de arrancamento por tracção – *pull-off*, assume uma importância primordial nesta área do conhecimento.

Assim, tirando partido dos dados recolhidos pelo LFC-FEUP em vários estudos realizados nesta área, pretende-se neste trabalho dar um contributo para o conhecimento relativo à utilização desta técnica de ensaio.

Os objectivos principais deste trabalho passam por:

- fazer uma recolha bibliográfica acerca do ensaio de arrancamento por tracção, analisando as normas que definem a sua realização;
- recolher informação acerca do estado actual do conhecimento no que diz respeito aos parâmetros medidos por este ensaio, procurando valores de referência que permitam uma correcta interpretação dos resultados obtidos;
- analisar o campo de aplicação do ensaio através da informação disponível acerca das inspecções realizadas pelo LFC;
- analisar o grau de confiança dos resultados obtidos procurando materiais ou procedimentos que conduzam a resultados menos fiáveis, e que portanto devam ser evitados;
- identificar as potencialidades deste ensaio no apoio ao diagnóstico de patologias;
- detectar limitações à aplicação do ensaio e dificuldades à interpretação dos resultados;

1.3. ESTRUTURA

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos:

- No Capítulo 1, INTRODUÇÃO, faz-se um breve enquadramento do tema, evidenciando a importância da avaliação do comportamento dos sistemas construtivos, e em particular das condições de aderência dos revestimentos, sendo ainda apresentados os principais objectivos a atingir com o estudo realizado;
- No Capítulo 2, ESTADO DA ARTE, é descrito o estado actual do conhecimento nesta área. Os resultados da pesquisa bibliográfica que incidiu sobretudo nos documentos normativos que regem a execução do ensaio de arrancamento por tracção e em especificações de requisitos de comportamento de vários sistemas de revestimento. Foi também consultada uma série de publicações de carácter técnico e científico com interesse nesta área;
- No Capítulo 3, AMOSTRA, são apresentados os dados que servem de base a este trabalho. Estes dados correspondem aos resultados de ensaios de arrancamento por tracção levados a cabo pelo LFC-FEUP ao longo da sua existência. Alguns destes ensaios resultam de estudos laboratoriais sobre o comportamento de sistemas construtivos e materiais, mas a grande maioria são resultantes de inspecções *in-situ* levadas a cabo por este laboratório ao longo dos anos;
- No Capítulo 4, ANÁLISE DA AMOSTRA, são tratados os dados recolhidos, fazendo-se o cruzamento das várias variáveis em estudo com vista à identificação de padrões de comportamento do ensaio que possam conduzir à identificação de limitações na sua aplicação;
- No Capítulo 5, CONCLUSÕES, sintetizam-se os resultados da análise efectuada apresentando-se as conclusões finais do estudo.

ESTADO DA ARTE

2.1. ADERÊNCIA

A tensão de aderência é das principais propriedades exigidas a um revestimento, sendo definida como a força máxima de rotura por unidade de superfície, que pode ser medida com a aplicação de uma força de tracção ou de corte [5].

Existem dois processos fundamentais pelos quais se dá a colagem: processos de natureza mecânica e processos de natureza química;

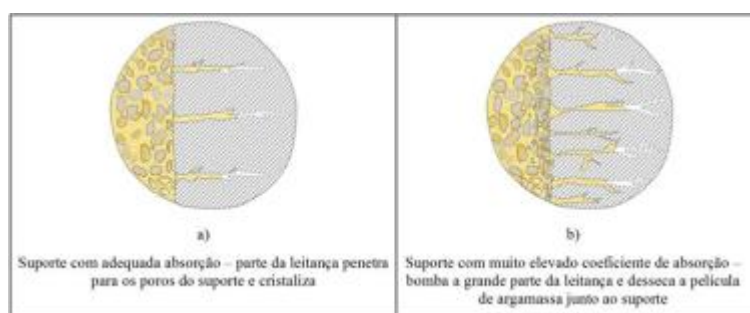


Fig. 2 – Mecanismo de aderência mecânica de revestimentos ao suporte [6]

A aderência da argamassa endurecida ao suporte decorre essencialmente de fenómenos mecânicos devido à penetração da leitança [6], ou da própria argamassa, nos poros e rugosidades da camada de suporte. Ocorrem fenómenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento, nomeadamente da etringita exercendo-se uma acção de ancoragem da argamassa à base – *Aderência Mecânica*.

Por outro lado, a utilização de cimentos-cola (ou outros materiais idênticos) baseia-se na presença de resinas que produzem uma aderência através de ligações químicas – *Aderência Química*.

Nos casos em que os materiais de suporte e revestimento apresentam uma estrutura muito coesa, e com poucos poros, a aderência mecânica poderá não ser suficiente para garantir as adequadas condições de segurança. Impõe-se assim a utilização de produtos que promovam a aderência química [7].

Pode dizer-se que quanto melhor for o contacto entre as interfaces, maior será a aderência obtida. Assim, a aderência de rebocos depende directamente da trabalhabilidade da argamassa, da energia de impacto durante a aplicação, das características dos vários materiais envolvido e de factores externos.

Na Fig. 3 estão representados os principais factores que influenciam a aderência.

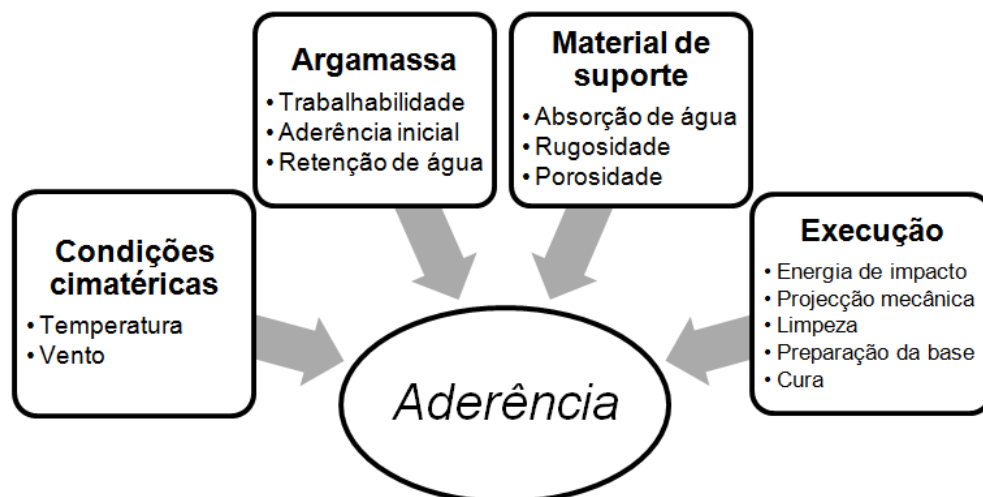


Fig. 3 – Factores que influenciam a aderência das argamassas sobre base porosa (adaptado de [8])

A garantia do respeito do Requisito Essencial “Segurança na Utilização” está, no contexto dos sistemas de revestimento, associada sobretudo ao risco de destacamento e queda de partes do sistema sobre os utentes ou sobre pessoas na proximidade [7].

Segundo a Directiva dos Produtos de Construção, a resistência dos elementos que não desempenham funções estruturais deve ser avaliada no âmbito da segurança na utilização. Assim, o dimensionamento dos sistemas de revestimento deve garantir a sua segurança face às solicitações decorrentes das condições normais de uso, nomeadamente [7]:

- O peso próprio e sobrecargas decorrentes da sua utilização normal;
- Os choques normais ou acidentais;
- Acções climáticas extremas, tais como as solicitações higrotérmicas, a acção da neve e do vento;
- Deformações impostas;

Encontra-se demasiadas vezes em publicações técnicas e científicas o termo *adesão* aplicado como sinónimo de *aderência*. Apesar dos dois termos serem de facto sinónimos, o seu campo de aplicação é distinto. O termo *adesão* é aplicado a pessoas significando por exemplo uma ligação ideológica. A palavra *aderência* por seu lado aplica-se a substâncias e materiais e à sua ligação pelo que este é o termo correcto nesta área do conhecimento [9].

Alguns autores defendem que o termo resistência de aderência deve ser aplicado apenas quando da aplicação deste ensaio resulte uma rotura adesiva numa das interfaces do sistema de revestimento. Assim falaríamos de resistência de aderência da interface e não do revestimento. Neste trabalho optou-se por não fazer esta distinção, pelo que os termos tensão de aderência, resistência à tracção ou tensão de rotura serão utilizados indiscriminadamente para denominar o resultado do ensaio conforme for mais conveniente.

2.2. PRINCIPAIS ANOMALIAS DE REVESTIMENTOS E SUA CORRECÇÃO

Os problemas que mais afectam as paredes são a fissuração, defeitos associados à acção da humidade e a perda de aderência com ou sem destacamento. Os rebocos podem apresentar fenómenos de perda

de coesão e desagregação por falta de resistência mecânica, ou de descolamento por falta de aderência entre este e o suporte [10].

No caso dos revestimentos descontínuos aderentes, tanto ladrilhos cerâmicos como placas de pedra natural, a ocorrência de descolamento representa 50 % do total de anomalias registadas [10]. Dentro deste grupo podemos distinguir dois tipos de descolamento: descolamento localizado e descolamento generalizado;

O descolamento localizado ocorre sobretudo devido à fissuração do suporte, à concentração de tensões em pontos singulares ou à entrada de água para o suporte. A utilização de argamassas no limite do seu tempo aberto promove também este tipo de descolamento. Quando os fenómenos descritos ocorrem em sistemas com elevada aderência o revestimento poderá sofrer fissuração [7] e não se destacar.

O descolamento generalizado ocorre, em geral, por deficiência da camada adesiva, quer por falta de qualidade do produto, quer por dificuldades na sua aplicação [7].

Quando o deslocamento generalizado está associado ao empolamento do revestimento, o problema poderá ter origem na excessiva deformabilidade dos ladrilhos, não compensada por juntas de dilatação [7].

O Quadro 1 analisa os tipos de rotura entre as várias camadas de um sistema de revestimento cerâmico aderente, indicando os principais fenómenos que lhes dão origem.

Quadro 1 – Tipos de rotura das ligações ladrilho-cola-suporte e suas causas [7]

Tipo de Rotura	Origem dos fenómenos
Rotura adesiva ladrilho-cola	Aplicação de cola que já tinha ultrapassado o seu tempo de abertura real, ou de cola que não é adequada para o grau de porosidade dos ladrilhos.
Rotura coesiva da cola	Utilização prematura do revestimento, antes de a cola ter adquirido o desempenho necessário
Rotura adesiva da cola-suporte	Contágios do suporte por produtos cobertos de pó, suporte demasiado quente ou seco no momento da aplicação da cola, ou cola inadequada para o grau de absorção de água do suporte.
Rotura coesiva do suporte	Suporte que não apresenta a devida coesão, sem condições para receber um revestimento.

Para além do perigo associado à queda, o destacamento dos materiais de revestimento cria condições favoráveis à entrada de grandes quantidades de água no suporte o que vai acelerar ainda mais o processo de degradação e provocar infiltrações para o interior do edifício.

As operações de reabilitação devem ter sempre em conta as características do sistema construtivo como um todo, fazendo a compatibilização entre as características do suporte e as do revestimento.

A remoção total do revestimento original deve ser encarada como uma medida de último recurso, empregue apenas em situações de elevada degradação.

Em rebocos [10] recomenda que sejam empregues argamassas fracas e bastante trabalháveis, por estas serem menos susceptíveis de sofrer fissuração.

Já em revestimentos descontínuos aderentes os mesmos investigadores referem a possibilidade de utilizar os mesmos elementos (os que não se tenham deteriorado), tendo o cuidado de remover qualquer vestígio do produto de colagem.

2.3. DIAGNÓSTICO DA ADERÊNCIA DE SISTEMAS DE REVESTIMENTO

Os revestimentos exteriores são a primeira barreira de protecção das edificações. É destes que depende a protecção das alvenarias face aos agentes erosivos, sendo portanto essencial que sejam capazes de cumprir a sua função durante toda a sua vida útil.

Nos revestimentos colados (rebocos, ladrilhos, placas de pedra, etc.) é necessário que a aderência do sistema de colagem seja suficiente para garantir condições de segurança face ao seu peso próprio e às acções externas, tais como:

- a sucção provocada pela acção do vento;
- as variações dimensionais provocadas por gradientes de temperatura e pela radiação solar, tanto ao nível do suporte como do revestimento;
- a acção da chuvas incidente (acção conjunta da chuva e do vento).

É ainda necessário que o revestimento garanta a protecção necessária para a sua própria conservação e do seu suporte, de forma a assegurar a manutenção da resistência global do sistema.

A resistência ao arrancamento é um elemento fundamental na avaliação do desempenho do sistema de revestimento, sendo um dos poucos parâmetros obtidos de forma directa através de ensaio *in-situ*.

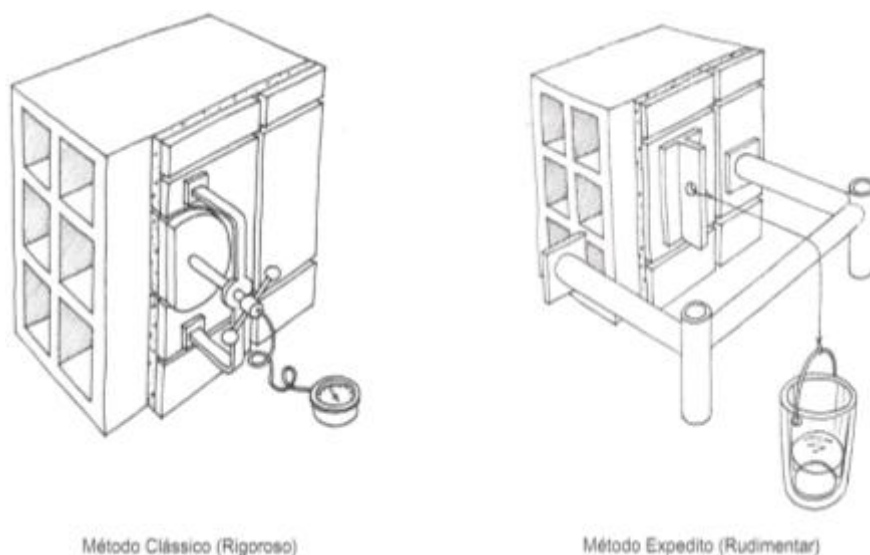


Fig. 4 – Métodos de ensaio e arrancamento "in-situ" [7]

A Fig. 4 mostra dois métodos de ensaio de arrancamento. O método clássico, rigoroso, é o recomendado e habitualmente empregue tanto em inspecções *in-situ* como em ensaios laboratoriais. Em situações em que não se pretendam medições rigorosas pode ser utilizado o método expedito representado

na mesma figura. Neste método é colado ao revestimento um perfil metálico ao qual é acoplado um fio que na outra extremidade tem um recipiente. É utilizado um apoio (um andaime por exemplo) que permite a transferência da carga vertical colocada no recipiente para a perpendicular do revestimento. A força e aderência corresponde à massa colocada no recipiente procedendo-se às conversões de unidades necessárias.

Para a identificação de zonas de descolamento em revestimentos descontínuos aderentes pode recorrer-se à diferença entre o som produzido pelo revestimento quando percutido. As zonas de descolamento produzem um som cavo ao serem percutidas por um cabo de madeira ou um martelo de borracha. Em situações que exijam uma maior clareza pode recorrer-se a uma análise termográfica [7].

A norma americana ASTM E2270-05 recomenda a execução de, no mínimo, três testes de arrancamento por paramento aquando de uma inspecção detalhada [11].

As principais características que fazem desta técnica uma referência na avaliação da aderência são [12]:

- o custo do aparelho (500 € a 2500 €) e a facilidade na sua utilização (sobretudo em equipamentos recentes);
- a possibilidade em obter informação quantitativa acerca da aderência, possibilitando a sua monitorização em serviço;
- a facilidade de interpretação dos resultados;
- não é necessária fonte de energia *in-situ*;
- a fiabilidade dos resultados;
- o facto de não ser necessário trabalho laboratorial;

São, no entanto, apontadas algumas limitações que condicionam a sua aplicação [12]:

- a necessidade de execução do ensaio por fases (preparação e colagem das pastilhas, execução do ensaio e por fim reparação dos locais ensaiados);
- a duração do ensaio varia entre 1 e 2 dias, de acordo com as especificações do produto de colagem das pastilhas metálicas.
- trata-se de uma técnica destrutiva que afecta a integridade do revestimento, obrigando a trabalhos de reparações nos locais ensaiados;
- é recomendada a realização da técnica por pelo menos duas pessoas tendo um dos técnicos formação específica;
- são necessários meios auxiliares de acesso aos locais de ensaio (andaimes, escadotes, entre outros).

Flores-Colen [12] faz uma análise comparativa a 16 técnicas de ensaio *in-situ*, que foram avaliadas segundo 11 parâmetros dando origem a um coeficiente de adequabilidade.

Nesta análise foram estudados os seguintes critérios, sendo atribuída uma pontuação entre 0 e 2:

- A. custo da aquisição do equipamento de ensaio;
- B. facilidade de utilização do equipamento;
- C. volume de dados úteis recolhido;
- D. facilidade de interpretação dos resultados;
- E. grau de destruição causado;
- F. facilidade de transporte do equipamento;
- G. necessidade de fonte de energia auxiliar;
- H. necessidade de pessoal técnico especializado;
- I. resultados fiáveis;

- J. necessidade de trabalho em laboratório;
- K. meios de acesso necessários;

Quadro 2 – Avaliação da adequação da aplicação do ensaio de arrancamento em inspecções *in-situ* [12]

Critérios de comparação											Coeficiente de adequabilidade
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	0	2	2	0	0	0	1	2	2	0	10

Apesar do resultado (10 num máximo de 22) ter sido o mais baixo entre os métodos de ensaio analisados, o estudo realça que esta técnica é recomendada para aplicação *in-situ*, sobretudo em rebocos. É também referido no mesmo estudo que algumas das limitações encontradas poderão não se aplicar todos os modelos de equipamento disponíveis, nomeadamente o critério *F*.

2.3.1. AMOSTRAGEM

Esta metodologia pode ser aplicada em amostras preparadas em laboratório, mas também em inspecções *in-situ* [13] [14] [15] [16].

O ensaio deve ser levado a cabo numa área representativa da zona em estudo, por este motivo devem ser evitados pontos singulares da parede, como padieiras de janelas e portas ou as extremidades dos paramentos.

Devem ser tidos em conta todos os factores que podem condicionar o comportamento em serviço do revestimento, seleccionando-se zonas de amostragem que partilhem características como a orientação, a idade ou a existência de trabalhos de renovação. Ao separar as zonas de amostragem estamos a eliminar alguns dos factores que contribuem para a incerteza do ensaio.

Durante a realização do ensaio devem se evitadas condições ambientais extremas como altas temperaturas ou chuva. Estas condições podem condicionar, não só o comportamento do sistema de revestimento, mas também o funcionamento do próprio equipamento de ensaio [14].

O número mínimo de arrancamentos a efectuar não é consensual. As normas [15] [16] [17] especificam um número mínimo de arrancamentos que devem ser realizados para que os resultados sejam considerados válidos. É recomendado que se aumente o número de determinações quando a área em estudo é muito heterogénea. Algumas recomendações [13] definem o número de determinações em função das dimensões do paramento em estudo.

2.3.2. PROCEDIMENTO

O ensaio consiste na extracção de uma pastilha metálica previamente colada ao revestimento medindo-se a força necessária para atingir a rotura. É a camada em que a rotura ocorreu.

Para se proceder à colagem das pastilhas metálicas começam por ser feitas incisões, geralmente de forma circular e com cerca de 50 mm de diâmetro, em toda a espessura do revestimento. Para minimizar os danos provocados por este corte, pode ser utilizado um sistema de lubrificação à base de água, no entanto nestes casos deve aguardar-se a completa secagem do revestimento para que se possa prosseguir com o ensaio. Devido às grandes variedades de espessura de revestimento que podem ser encontradas, deve ser realizada uma sondagem para se poder avaliar a profundidade a que se encontra

o substrato e assim garantir que nos locais a ensaiar o corte efectuado penetra 1 a 2 mm no suporte. O diâmetro da área circular obtida deve ser registado. Qualquer provete que seja danificado durante o pré-corte, nomeadamente pelo destacamento de grandes porções da superfície (> 10 %), deve ser rejeitado [14].

Nos casos em que as características do revestimento fazem supor que a força de torção infligida pela carotadora provocará uma perda significativa da resistência, afectando por isso os resultados obtidos, pode substituir-se o pré-corte circular por uma secção quadrada de área equivalente. Esta pode ser obtida pela intercepção de quatro cortes realizados com a lâmina de uma rebarbadora [14].

A realização destas incisões prende-se com a necessidade de controlar a forma de rotura do provete. Ao confinar a secção em que a força é aplicada garante-se que as tensões produzidas são unicamente de tracção e que a área sobre a qual a força incide é efectivamente a área em que as pastilhas estão coladas.

Sobre as incisões efectuadas são então coladas as pastilhas metálicas, com forma e tamanho correspondente, tendo-se o cuidado de limpar ambas as superfícies de qualquer resíduo que possa dificultar a aderência do produto de colagem. Um eventual excesso de cola deve ser retirado evitando que este se deposite nas zonas de corte e possa influenciar os resultados. Estas pastilhas têm como finalidade garantir que a força aplicada é distribuída de forma uniforme por toda a superfície de teste [14].

O período de cura depende da cola aplicada, geralmente 24 horas são suficientes para colas com base em resinas *epoxy* [1], e durante este período devem ser usados meios auxiliares de fixação, como por exemplo fita adesiva [11].

Após a cura estar completa é aplicada uma carga perpendicular à área de ensaio através da pastilha metálica por acção do equipamento de ensaio. A máquina de ensaio deve ser fixa ao elemento em estudo por intermédio de vácuo ou de outro que garanta uma correcta fixação durante o decorrer do ensaio. A carga deve ser aplicada a um ritmo uniforme. É registada a força que conduz à ocorrência da rotura. Qualquer provete cuja rotura ocorra na zona de ligação entre a máquina de teste e o revestimento deve ser rejeitado [15].

O resultado do ensaio é calculado através do quociente entre a força de rotura registada e a área do provete.

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \quad (1)$$

Para além do valor da tensão de rotura é fundamental registar o padrão de rotura. Deve ser indicando se se está perante uma rotura coesiva – rotura no seio de uma camada; ou de uma rotura adesiva – rotura na interface entre camadas; e quais os materiais envolvidos [15] [16].

Quando estamos perante uma rotura do tipo coesivo o valor obtido não representa exactamente uma tensão de aderência, mas fornece-nos informação acerca do seu limite inferior pelo que o resultado deve ser considerado válido.

Devem ser efectuadas várias medições (o número varia de acordo com a norma adoptada) sendo o resultado a considerar a média dos resultados válidos dessas medições.

Na Fig. 5 – Etapas da realização do ensaio de arrancamento por tracção estão representadas as etapas necessárias à realização do ensaio de arrancamento por tracção.

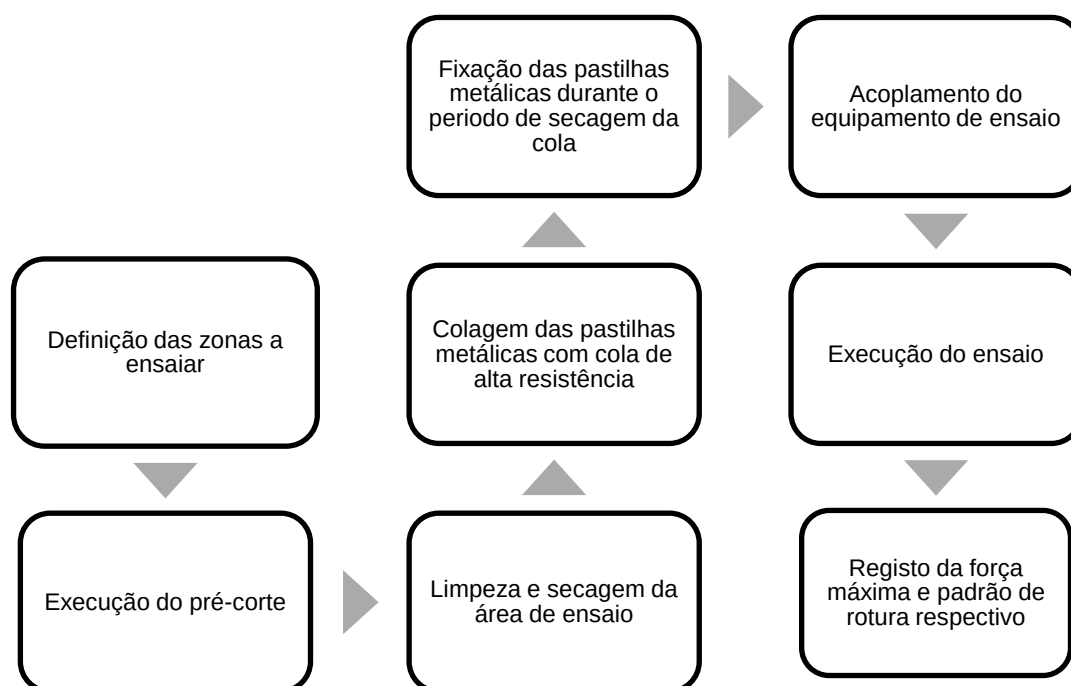


Fig. 5 – Etapas da realização do ensaio de arrancamento por tracção

2.4. NORMAS DE ENSAIO

Como foi já referido o ensaio de arrancamento por tracção é citado em várias normas como instrumento de avaliação da propriedade aderência de diversos tipos de materiais.

As normas que enquadram a aplicação do ensaio de arrancamento por tracção são:

- EN 1015-12: Methods of test for mortar for masonry – Part 12: determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates [15]
- ASTM D 4541-02: Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers plastering [17]
- EN 1348 – Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives [16]

Outras publicações introduzem adaptações aos métodos de ensaio, nomeadamente a recomendação MDT.D.3 [14] que introduz procedimentos para aplicação do método *in-situ*.

No presente capítulo serão analisadas as principais particularidades introduzidas por cada norma ao procedimento geral de ensaio descrito em § 2.3.2.

2.4.1. LNEC FE PA36

Datada de 1986 a Ficha de Ensaio *FE Pa36* [13] – *Revestimentos de paredes, Ensaio de Arrancamento por tracção* – emitida pelo LNEC foi durante muito tempo o documento de referência na execução de ensaios de arrancamento por tracção no LFC-FEUP.

Neste documento estão definidos os utensílios e os procedimentos necessários à execução do ensaio quer em ambiente laboratorial, quer *in-situ*.

O surgimento de normas específicas para aplicação deste método de ensaio em diferentes materiais fez esta recomendação passar para segundo plano.

Alguns dos procedimentos são de difícil implementação, nomeadamente o número de determinações a realizar. Em paramentos exteriores de parede são necessárias pelo menos 3 determinações por cada 50 m² de paramento [13]. Esta imposição levaria em muitos casos a um número de determinações que tornaria o ensaio inviável de um ponto de vista económico [11].

2.4.2. EN 1015-12

A norma *EN 1015: Methods of test for mortar for masonry* [15], introduz uma série de técnicas de ensaio de argamassas para alvenaria. Concretamente, na parte 12 – *Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates* – desta norma é descrito o ensaio de arrancamento por tracção aplicado a argamassas de reboco e estuques. Trata-se de uma norma orientada para o estudo laboratorial da aderência.

2.4.2.1. Referências externas

É feita referência a 6 outras normas cujas especificações servem de apoio à aplicação deste texto. São elas:

- prEN 772-11 Methods of test for masonry units – Part 11: determination of water absorption of clay, aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action
- prEN 998-1 Specification for mortar for masonry – Part 1: rendering and plastering mortar with inorganic binder agents
- prEN 998-2 Specification for mortar for masonry – Part 2: Masonry mortar
- EN 1015-2 Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars
- EN 1015-3 Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistency of fresh mortar (by flow table)
- prEN 1015-11 Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar

2.4.2.2. Equipamento experimental

A norma EN 1015-12 especifica que o pré-corte a efectuar nas zonas de ensaio deve ser circular efectuado com uma carotadora com diâmetro interno de 50 mm preparada para o corte de argamassas, no estado endurecido, e do respectivo suporte. Por se tratar de uma norma orientada para os estudos laboratoriais está também prevista a utilização de um anel circular usado para efectuar o corte em painéis de argamassa fresca.

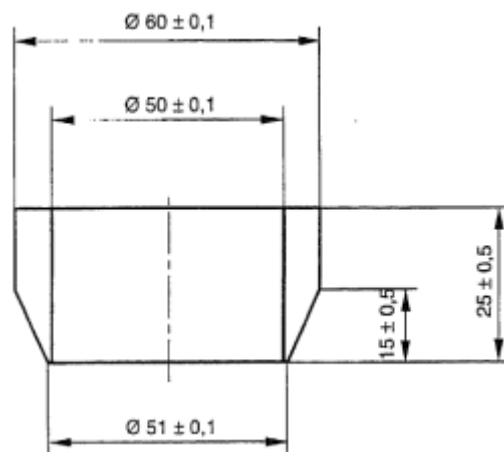


Fig. 6 – Anel circular de pré-corte aplicado a argamassas frescas

A norma indica que as pastilhas metálicas a utilizar são feitas em aço inoxidável e têm um diâmetro de $(50 \pm 0,1)$ mm e uma espessura mínima de 10 mm com um encaixe no centro de uma das faces para permitir a ligação à máquina de ensaio.

A colagem das pastilhas é realizada com cola à base de resinas, sendo referidas a título de exemplo as resinas *epoxy* e *methylmethacrylate*.

A máquina de ensaio deve ser capaz de aplicar uma carga directa de tracção com uma intensidade adequada ao corpo de prova, através da ligação à pastilha metálica e sem introdução de tensões de flexão. Este equipamento deverá respeitar ainda as seguintes especificações:

- Repetição máxima de forças como percentagem da força nominal, inferior a 2,0 %
- Erro médio das forças como percentagem da força nominal, inferior a $\pm 2,0$ %
- Máximo erro de força nula como percentagem da força máxima do intervalo, inferior a $\pm 0,4$ %

Deve estar disponível uma câmara de armazenamento capaz de manter uma temperatura de (20 ± 2) °C e uma humidade relativa de (65 ± 5) %.

2.4.2.3. Amostragem e preparação de amostras

A argamassa fresca usada neste ensaio deve ter um volume mínimo de 1,5 l ou de 1,5 vezes a quantidade necessária à realização do ensaio, adoptando-se o maior destes dois valores. A redução da amostra e a preparação da argamassa devem respeitar as normas EN 1015-2 e EN 1015-3.

Sempre que a argamassa em estudo for destinada a um tipo específico de suporte, por exemplo alvenaria de tijolo, betão armado, etc., estes materiais devem ser usados como suporte no ensaio laboratorial. A capilaridade dos materiais de suporte deve ser registada ou calculada de acordo com a norma *prEN 772-11*.

Nos casos em que não existe outra especificação devem ser usados painéis de betão com dimensões não inferiores a 550 mm x 150 mm e 50 mm de espessura. O traço água/cimento deve ser de 0,55, usando agregados com uma granulometria normal e cuja dimensão máxima não deve exceder um terço da espessura do painel. Com uma superfície devidamente lisa e limpa. No momento de aplicação do

revestimento o suporte deve ter uma idade não inferior a 28 dias tendo sido sujeito a cura de acordo com o especificado em na norma *EN 1015-11*.

Na falta de outras especificações a espessura da argamassa deve ser de (10 ± 1) mm.

As zonas de prova podem ser preparadas ainda com a argamassa fresca. Introduzem-se os anéis circulares, previamente limpos e lubrificados, num movimento de ligeira rotação até ser atingido o suporte. Os anéis são então cuidadosamente removidos segundo um movimento semelhante.

Os cortes podem também ser executados na argamassa já endurecida sendo para isso utilizada a carotadora já especificada.

Em qualquer dos casos a distância mínima entre cortes individuais, ou entre estes e os bordos livres do suporte, não deve ser inferior a 50 mm.

Qualquer provete em que se detecte uma evidente perda de aderência durante a execução deste procedimento deve ser excluído.

A norma requer que 5 provetes sejam ensaiados.

As amostras depois de preparadas devem ser armazenadas num saco de polietileno estanque ao ar e selado a uma temperatura de (20 ± 2) °C durante 7 dias. Após este período devem ser removidos do saco e conservados à mesma temperatura e a uma humidade relativa de (65 ± 5) % por mais 21 dias.

2.4.2.4. Procedimento de ensaio

À idade de 28 dias os provetes devem ser ensaiados. A colagem das pastilhas metálicas deve ser feita com a antecedência necessária a garantir o seu total desempenho, respeitando as instruções do fabricante e removendo qualquer excesso.

A máquina de ensaio deve aplicar a carga a um ritmo uniforme e sem choque, garantindo uma cadência entre 0,003 N/(mm²·s) e 0,100 N/(mm²·s) de acordo com o valor esperado da tensão de aderência e para que a rotura ocorra entre 20 s e 60 s.

Quadro 3 – Ritmo de aplicação da carga em função do valor esperado da tensão de aderência

Valor esperado da tensão de aderência (N/mm ²)	Incremento da força aplicada N/(mm ² ·s)
< 0,2	0,003 – 0,010
0,2 – <0,5	0,011 – 0,025
0,5 – 1,0	0,026 – 0,050
>1,0	0,050 – 0,100

2.4.2.5. Resultados

Os resultados individuais da resistência de aderência f_u são obtidos a partir da fórmula (1), devendo ser arredondados ao múltiplo de 0,05 N/mm² mais próximo. Com base no valor individual dos 5 provetes ensaiados é determinada a média arredondada ao múltiplo de 0,1 N/mm² mais próximo, constituindo este valor o resultado do ensaio.

Na Fig. 7 estão representados os padrões de rotura nesta norma [15], devendo ser registados juntamente com os valores individuais dos ensaios.

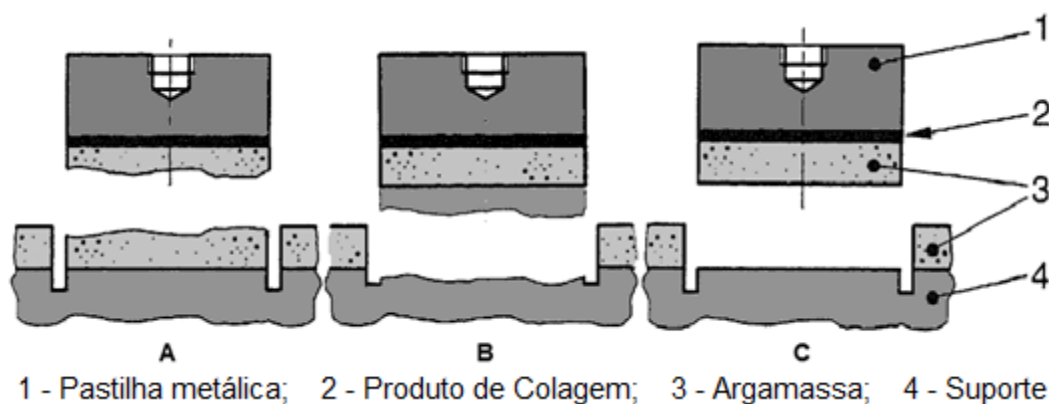


Fig. 7 – Padrões de rotura previstos [15]

O padrão de rotura A representa uma rotura coesiva, rotura da própria argamassa. A aderência é superior ao valor obtido.

O padrão de rotura B representa uma rotura coesiva do suporte. O valor da aderência é também superior a este resultado.

O padrão de rotura C representa uma rotura adesiva. O resultado obtido é efectivamente a resistência de aderência.

2.4.2.6. Relatório de ensaio

Qualquer relatório de ensaio executado com base nesta norma deve conter entre outros os seguintes elementos:

- Referência explícita a esta norma, incluindo número, título e data;
- Local, data e hora da recolha da amostra;
- Método usado na recolha da amostra e nome da entidade que procedeu a essa recolha;
- Indicação do tipo, origem e designação da argamassa por intermédio de referência à norma EN 998-1;
- Método de preparação;
- Tipo e descrição do suporte incluindo coeficiente de capilaridade quando relevante;
- Qualquer tratamento específico do suporte de acordo com as instruções do fabricante;
- A data e hora do ensaio;
- Consistência da argamassa calculada de acordo com a norma EN 1015-3;
- Outros detalhes relevantes acerca dos corpos de prova incluindo, número, dimensões, etc.;
- Valores individuais da aderência arredondados ao múltiplo de $0,05 \text{ N/mm}^2$ mais próximo e valor médio arredondado ao múltiplo de $0,10 \text{ N/mm}^2$ mais próximo e informação acerca do padrão de rotura através de referência à respectiva figura.

2.4.3. RECOMENDAÇÃO RILEM MDT. D.3

A avaliação do desempenho de materiais, quer em edifícios existentes quer em novas edificações, requer o complemento da informação produzida em laboratório com dados recolhidos *in-situ*. A recomendação *MDT. D3* do RILEM – *Determination “in-situ” of adhesive strength of rendering and plastering mortars to their substrate* [14], recomenda algumas alterações à norma *EN 1015-12* [15] com vista à sua aplicação *in-situ*. Os princípios gerais do ensaio mantêm-se pelo que serão realçadas apenas as alterações introduzidas por esta recomendação.

- Utilização de uma carotadora com lubrificação à base de água para minimizar os danos causados durante a execução do pré-corte. Esta prática pressupõe um período de secagem do revestimento antes que se possa prosseguir com o ensaio;
- É recomendada a realização de uma sondagem para avaliar a espessura real do revestimento e assim estabelecer a profundidade do pré-corte;
- Nos casos em que a força de torção introduzida pelo pré-corte circular puder causar a desagregação do revestimento é possível substituição deste por uma secção quadrada de área equivalente (aproximadamente 45 mm x 45 mm) obtida pela intercepção de quatro cortes realizados com a lâmina de uma rebarbadora. Neste caso as pastilhas metálicas utilizadas terão de ser também quadradas;
- Este ensaio é realizado com base em pelo menos 6 arrancamentos, devendo este número ser aumentado sempre que se verificar uma grande heterogeneidade no revestimento ou no suporte;
- O período de secagem do produto de colagem das pastilhas metálicas ao revestimento deve ser de 2 dias;
- No que se refere ao relatório de ensaio devem incluídas, para além das informações já previstas: referência a esta recomendação; data e hora da realização de ambas as fases do ensaio (colagem das pastilhas e ensaio propriamente dito); e dados acerca das condições climáticas durante o ensaio;

2.4.4. EN 1348

A presente norma – *EN 1348: Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives* [16] – estabelece os procedimentos para a avaliação da resistência à tracção de produtos de colagem de revestimentos descontínuos aderentes para aplicação em ambiente interior ou exterior, tanto em revestimentos de parede como de piso.

Não são definidos nesta norma procedimentos de aplicação ou requisitos de comportamento para os produtos ensaiados através desta norma.

2.4.4.1. Referências externas

- EN 196-1:2005 Methods of testing cement – part 1: Determination of strength;
- EN 1067 Adhesives – Examination and preparation of sample for testing;
- EN 1323 Adhesives for tiles – Concrete slabs for tests;
- EN 12004 Adhesives for tiles – Requirements, evaluation of conformity, classification and designation
- EN 14411 Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking
- EN ISO 15605 Adhesives – Sampling (ISO 15605:2000)

2.4.4.2. Equipamento experimental

O material necessário à aplicação do ensaio é o seguinte:

- Uma massa capaz de exercer uma força de $(20 \pm 0,05)$ N e com uma secção transversal de menos de 50 mm x 50 mm.
- Pastilhas metálicas com secção quadrada de (50 ± 1) mm x (50 ± 1) mm e uma espessura mínima de 10 mm possuindo um adequado sistema de fixação ao equipamento de ensaio.
- Máquina de ensaio adequada para a aplicação de uma força de tracção directa e com capacidade e sensibilidade adequadas à execução do ensaio. Este equipamento deve ser capaz de aplicar a força à pastilha metálica a um ritmo de (250 ± 50) N/s sem provocar qualquer tensão de flexão.
- Estufa, com circulação de ar, capaz de controlar a temperatura com uma precisão de ± 3 °C.
- Talocha denteada com dentes de 6 mm x 6 mm.



Fig. 8 – Cubo de 20 N [7]

2.4.4.3. Amostragem e preparação de amostras

Deverá ser recolhida uma amostra de pelo menos 2 kg do material a ensaiar, seguindo as especificações das normas *EN ISO 15605* e *EN 1067*.

O ensaio deverá ser executado a uma temperatura de (23 ± 2) °C, com humidade relativa de (50 ± 5) % e com uma velocidade do ar na zona de ensaio inferior a 0,2 m/s.

Todos os materiais a adicionar devem ser acondicionados na atmosfera padrão durante pelo menos 24 horas.

Os ladrilhos cerâmicos a aplicar deverão ser inspeccionados garantindo-se que são novos, estão limpos e secos e que são de acordo com a norma *EN 14411* do tipo V1, grupo BI_a com um coeficiente de absorção de água menor que 0,5 % em massa, não vitrificado, com uma superfície de aderência plana e dimensões faciais de (50 ± 1) mm x (50 ± 1) mm.

Deverão ser utilizadas lajetas de betão de acordo com a norma *EN 1323*.

A preparação do produto de colagem deverá obedecer às especificações do fabricante em conjugação com as disposições da norma *EN 196-1:2005*.

2.4.4.4. Procedimento de ensaio

Aplicar uma fina camada do produto de colagem com o bordo do flanco liso da talocha. Aplicar então uma segunda camada de maior espessura fazendo o seu espalhamento com o bordo dentado da talocha. Esta deve ser mantida num ângulo de aproximadamente 60° em relação à base, fazendo um ângulo recto com a extremidade da lajeta. A aplicação deve ser feita em linha recta, paralelamente a este bordo.

Após 5 minutos de cura devem ser colocados sobre o produto de colagem dez ladrilhos com um espaçamento de 50 cm entre si. Sobre estes é colocada a massa de $(20 \pm 0,05)$ N durante 30 s.

Após esta preparação inicial os provetes são submetidos a um período de cura cujas condições determinam o tipo de aderência avaliada.

Aderência inicial:

- 27 dias em ambiente padrão;
- Colagem das pastilhas metálicas;
- 24 horas em ambiente padrão;
- Ensaio de arrancamento;

Aderência após imersão em água:

- 7 dias em ambiente padrão;
- 20 dias de imersão em água à temperatura padrão;
- Secar com um tecido e proceder à colagem das pastilhas metálicas;
- 7 horas em ambiente padrão;
- 24 horas de imersão em água à temperatura padrão;
- Remover da água e efectuar o ensaio de arrancamento;

Aderência após envelhecimento por aquecimento:

- 14 dias em ambiente padrão;
- 14 dias em estufa ventilada a (70 ± 3) °C
- Colagem das pastilhas metálicas
- 24 horas em ambiente padrão;
- Ensaio de arrancamento;

Aderência após envelhecimento por aquecimento:

- Para além do procedimento de colagem anteriormente descrito deve ser aplicada uma fina camada do produto de colagem no tardo dos ladrilhos efectuando-se uma dupla colagem dos ladrilhos.
- 7 dias em ambiente padrão;
- 21 dias de imersão em água;
- 25 ciclos gelo/degelo:
 - 2h $\pm$ 20 min em arca frigorífica a (-15 ± 3) °C;
 - Imersão em água a (20 ± 3) °C mantendo depois a temperatura desta a (15 ± 3) °C
 - 2h a (15 ± 3) °C;
- Secar com um tecido e proceder à colagem das pastilhas metálicas;
- 24 h em ambiente padrão;
- Ensaio de arrancamento;

O valor da força medido nos ensaios deve ser registado em newton.

2.4.4.5. Resultados

Os valores individuais da resistência à tracção devem ser determinados com uma precisão de 0,1 N/mm² recorrendo a equação (1).

O resultado global para cada condição de ensaio é conseguido a partir dos valores individuais obtidos, sendo determinado da seguinte forma:

- Calcular a média das dez medições efectuadas;
- Excluir valores que se afastem mais de 20 % em relação à média;
- Se o número restante de determinações for igual ou superior a cinco, o resultado do ensaio é a média desses valores;
- Se restarem menos de 5 determinações o ensaio deve ser repetido.
- O modo de rotura do ensaio, com base em [5] corresponde ao modo de rotura predominante nos arrancamentos individuais.

2.4.4.6. Relatório de ensaio

Um relatório de ensaio baseado nesta norma deverá conter entre outras as seguintes informações:

- Referência explícita a esta norma, seu número e ano de publicação, *EN 1348:2007*;
- Local data e hora da amostragem;
- Tipo de produto de colagem, designação comercial e fabricante;
- Identificação da amostra;
- Informação acerca do manuseamento e condições de armazenagem dos provetes antes do ensaio;
- Condições de ensaio;
- Data de ensaio;
- Quantidade de água utilizada na preparação do produto de colagem;
- Resultados individuais, valor médio e modo de rotura;
- Tensão de aderência para cada condição de ensaio em N/mm²

2.4.5. ASTM D 4541-2

A norma Americana – *ASTM 4541-2: Standard Test Method for Pull-off strength of coatings using portable adhesion testers* [17] – agrupa os procedimentos de utilização de vários equipamentos que são utilizados na avaliação da aderência de diferentes revestimentos sobre suportes rígidos como metais, betão ou madeira.

Este ensaio permite determinar a força perpendicular máxima que uma superfície pode suportar até que ocorra o destacamento de uma porção de material, ou se uma superfície resiste a uma determinada força prescrita (passa/falha).

Os valores da resistência de aderência obtidos através de diferentes métodos não devem ser comparados entre si.

Nesta norma é feita referência a cinco equipamentos portáteis de avaliação da aderência. No contexto deste trabalho será apenas analisado o equipamento identificado como *Test Method A – Fixed-*

alignment adhesion tester, type I, por ser o tipo de equipamento especificado nas restantes normas estudadas e ser também o equipamento utilizado no estudo experimental exposto nos § 3 e § 4 deste texto.

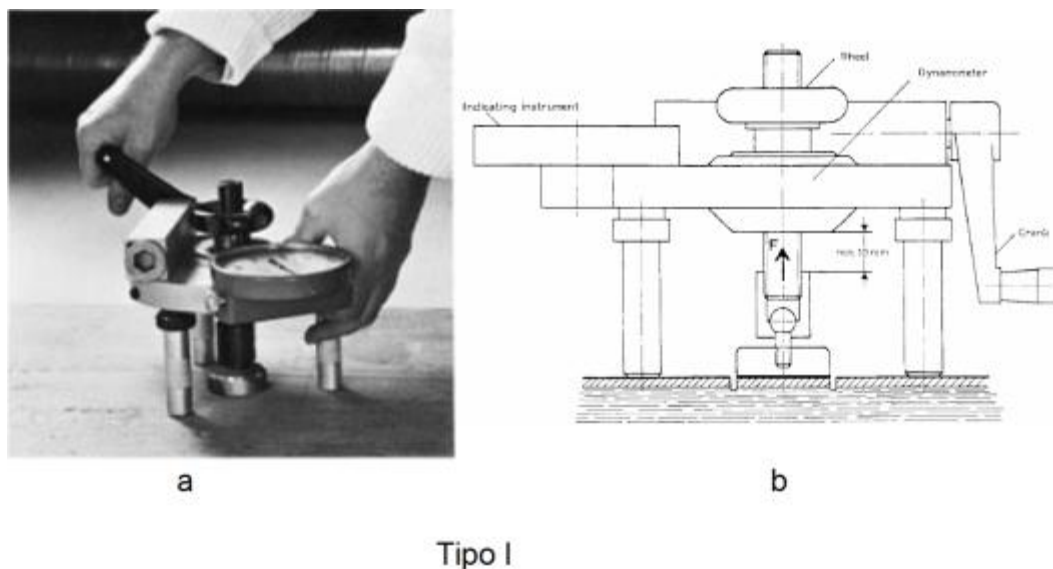


Fig. 9 – Equipamento de ensaio de aderência com alinhamento fixo do *Tipo I* [17]

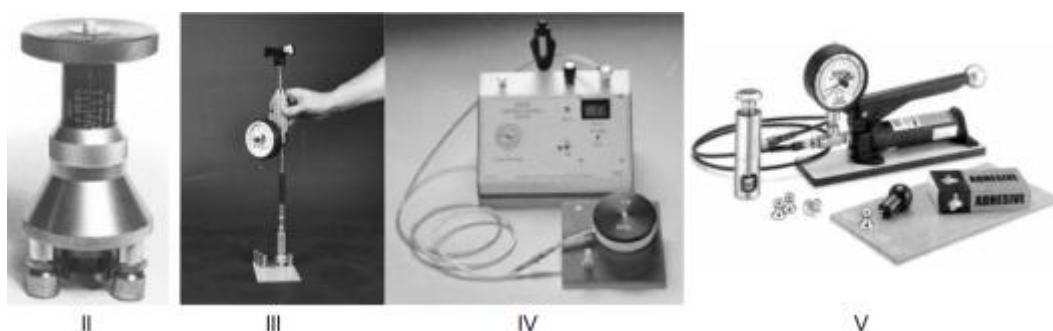


Fig. 10 – Equipamentos de ensaio de arrancamento por tracção dos tipos II a V [17]

Os equipamentos do tipo I e II são de alinhamento fixo. Isto significa que, antes do ensaio, é necessário alinhar o equipamento perpendicularmente à superfície em análise. Os equipamentos dos tipos III, IV e V têm eles próprios a capacidade de alinhar a força aplicada perpendicularmente ao paramento (Self-alignment adhesion tester) [17].

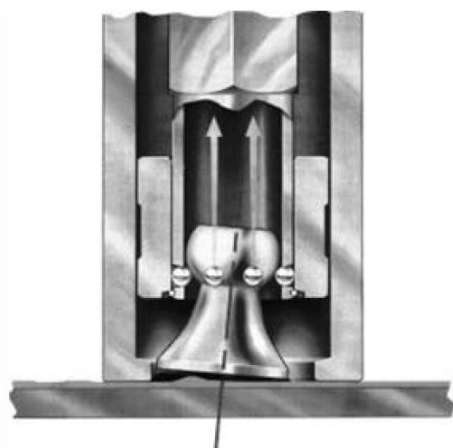


Fig. 11 – Mecanismo de alinhamento automático equipamento de ensaio do Tipo V [17]

O procedimento de ensaio é no seu geral semelhante ao descrito nas restantes normas analisadas pelo que será dado ênfase apenas aos elementos distintivos desta norma.

2.4.5.1. Referências externas

- ASTM D 2651 Guide for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding;
- ASTM D 3933 Guide for Preparation of Aluminum Surfaces for Structural Adhesive Bonding (Phosphoric Acid Anodizing);
- ASTM D 3980 Practice for Interlaboratory Testing of Paint and Related Materials;
- ANSI N 512 Protective Coatings (Paints) for the Nuclear Industry;
- ISO 4624 Paints and Varnish – *Pull-Off* Test for Adhesion;

2.4.5.2. Equipamento experimental

O material necessário à aplicação deste ensaio in-situ é fundamentalmente igual ao já descrito, havendo no entanto uma referência explícita aos produtos necessários à limpeza das superfícies e do excesso de produto de colagem das pastilhas.

O ritmo de aplicação da carga está, segundo esta norma, limitado a 1 MPa/s para produzir a rotura em cerca de 100 s ou menos.

Para além da indicação da força máxima, o equipamento deve dispor de informação acerca da sua calibração para que possa ser determinada a força efectivamente transmitida à pastilha metálica.

2.4.5.3. Amostragem e preparação de amostras

A selecção dos locais a ensaiar depende dos objectivos do ensaio e de acordo prévio entre as partes contratantes.

A área de ensaio pode ter qualquer orientação em termos geométricos (horizontal, vertical) constituindo uma superfície plana, grande o suficiente para acomodar o número de repetições necessária.

A caracterização de uma área requer a realização de pelo menos três repetições do ensaio.

Uma vez que as características do suporte afectam a resistência de aderência e não são uma variável controlável *in-situ*, deve ser recolhida e registada informação acerca da sua espessura e composição para permitir posterior análise ou comparação laboratorial.

2.4.5.4. Procedimento de ensaio

A única alteração significativa introduzida por esta norma em relação a [15] é o facto de não estar previsto qualquer tipo de pré-corte nos provetes. Segundo os autores desta norma, as tensões introduzidas na realização do pré-corte provocam alterações nas propriedades dos revestimentos, violando assim um princípio básico dos ensaios *in-situ*: *avaliação de amostras inalteradas*.

2.4.5.5. Resultados

Os resultados numéricos são apresentados de forma semelhante aos obtidos a partir de [15]. No que diz respeito à identificação do mecanismo de rotura é proposto um sistema de identificação no qual as camadas são representadas por letras, correspondendo a camada A ao suporte e as sucessivas camadas que neste são aplicadas recebem as letras B, C, D, etc., até ao produto de colagem Y que fixa a pastilha metálica Z à superfície do revestimento.

Assim as roturas do tipo coesivo são representadas pela letra correspondente à camada em que ocorreu a rotura A, B, C, D. As roturas coesivas são designadas através da interface em que ocorrem, como A/B, B/C, C/D, etc., com a indicação da percentagem de cada.

Se um resultado pode ser atribuído a uma causa com origem no procedimento experimental esse resultado deve ser excluído da análise.

Qualquer teste em que a rotura do produto de colagem representa mais de 50 % da superfície de rotura deve ser ignorado. Caso esteja a ser efectuada uma análise do tipo passa/falha o resultado deve ser representado como “passa, com uma tensão de aderência superior a {resultado obtido}”.

2.4.5.6. Relatório de ensaio

As seguintes informações devem ser incluídas num relatório:

- breve descrição da natureza do ensaio, tipo genérico de revestimento, etc;
- temperatura e humidade relativa durante o ensaio;
- descrição do equipamento de ensaio, nomeadamente nome marca e modelo da máquina de tracção e dimensões das pastilhas metálicas utilizadas;
- esquema construtivo do sistema de revestimento com identificação de cada camada do sistema, definição do tipo de suporte, sua espessura e orientação;
- data, local e técnico responsável;
- apresentação dos resultados;

2.4.6. ETAG 004

A definição dos requisitos de desempenho do sistema ETICS como sistema de isolamento exterior de edifícios é indicada no guia para a aprovação técnica europeia *ETAG 004 – Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering* [18].

Esta publicação estabelece os métodos de verificação de diferentes aspectos de comportamento, entre eles a resistência ao arrancamento.

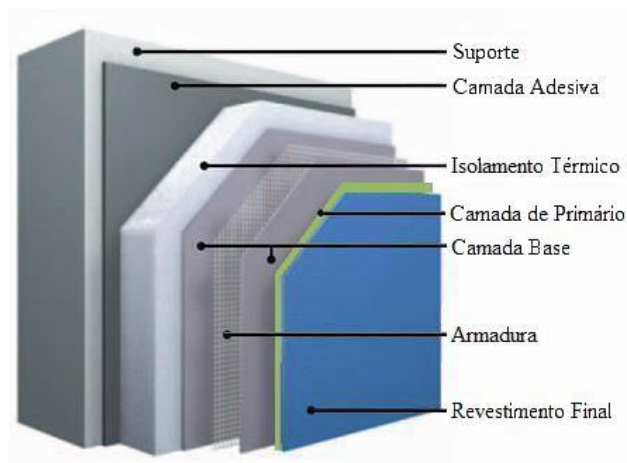


Fig. 12 – Constituição do sistema de isolamento térmico pelo exterior ETICS [19]

2.4.6.1. Aderência entre camada de base e o isolante térmico

Devem ser executados os seguintes ensaios:

- Sobre um painel revestido com a camada de base de acordo com as suas especificações após 28 dias de cura;
- Em elementos submetidos a ciclos higrotérmicos de envelhecimento acelerado (calor/chuva e calor/frio);
- Em elementos submetidos a ciclos gelo/degelo;

Para cada uma das situações descritas deverão ser cortadas cinco secções quadrangulares de 50 mm x 50 mm para plástico celular ou 200 mm x 200 mm para lã mineral através da camada de base penetrando na camada de isolamento utilizando uma rebarbadora. São coladas pastilhas metálicas com secção semelhante ao corte efectuado usando uma cola adequada. Após o período de cura da cola os provetes são ensaiados aplicando uma tensão a um ritmo de 1 a 10 mm/min. Os resultados individuais, medidos em MPa são registados e a sua média calculada.

2.4.6.2. Aderência entre produto de colagem e o suporte

O ensaio deve ser realizado apenas a sistemas aderentes, sendo aplicável aos seguintes suportes:

- Placa de betão lisa com pelo menos 40 mm de espessura.
- Produtos de colagem sem cimento, o suporte mais absorvente entre os especificados pela ETA aplicável.

O produto de colagem é aplicado sobre o suporte numa camada de 3 a 5 mm 15 min após a sua preparação sendo de seguida coberto com uma película isolante para impedir uma secagem demasiado rápida. Os provetes são mantidos a uma temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \% \text{ HR}$ por 28 dias. A película isolante é removida e são cortadas quinze secções de 15 a 25 cm² atingindo a camada de suporte.

São coladas pastilhas metálicas com secção adequada e é efectuado o ensaio de arrancamento a um ritmo de 1 a 10 mm/min em provetes que foram previamente submetidos às seguintes condições (cinco amostras cada):

- Sem outros procedimentos (condição seca);
- Após imersão em água por dois dias e secagem por duas horas a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \%$ HR.
- Após imersão em água por dois dias e secagem por sete dias a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \%$ HR.

O resultado do ensaio é obtido a partir da média das cinco medições registadas cujos resultados são expressos em MPa.

2.4.6.3. Aderência entre produto de colagem e o isolamento

O ensaio deve ser realizado apenas a sistemas aderentes sendo aplicado ao isolante especificado para o sistema.

O ensaio é em tudo semelhante ao descrito no § 2.4.6.2.

2.5. VALORES DE REFERÊNCIA

Algumas normas estabelecem valores de referência para diferentes materiais, tal como se observa na norma [5] referente a cimentos-cola, e consequentemente aos revestimentos baseados neste produto de colagem. Estes valores são, em geral, aplicáveis a ensaios laboratoriais e à aderência inicial do revestimento. Pelo que a sua utilização na avaliação do desempenho em serviço é por vezes questionada.

2.5.1. REBOCOS

Não são definidos na norma relativa a especificações de argamassas de reboco *EN 998-1* quaisquer valores que permitam avaliar o desempenho destes sistemas. São normalmente adoptados como valores mínimos os indicados pela norma francesa *NF P 15-201* (in [6]). Segundo esta publicação o valor médio do ensaio de arrancamento deve ser superior a 0,3 MPa sem que nenhuma das determinações individuais tenha resistência inferior a $0,2 \text{ N/mm}^2$. O mesmo valor é também apontado pela norma brasileira *NBR 13749* e ainda por trabalhos elaborados pelo LNEC [20] que acrescentam a possibilidade de considerar satisfatórios ensaios em que ocorra rotura coesiva.

2.5.2. CIMENTOS-COLA

Os valores a ter em conta no estudo dos sistemas descontínuos aderentes com base em cimentos-cola são dados pela norma *EN 12004* [5].

Quadro 4 – Valores de referência da tensão de aderência para cimentos-cola [5]

CIMENTOS-COLA	
CIMENTOS-COLA DE PRESA NORMAL	
Tensão de aderência inicial à tracção	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Tensão de aderência à tracção após imersão em água	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Tensão de aderência à tracção após envelhecimento por aquecimento	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Tensão de aderência à tracção após ciclos gelo/degelo	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$
Tempo aberto: tensão de aderência à tracção	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após não menos de 20 min
CIMENTOS COLA DE PRESA RÁPIDA	
Todos os requisitos dos cimentos-cola de presa normal	
Tensão de aderência rápida à tracção	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após não mais de 6h
Tempo aberto: tensão de aderência à tracção	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após não menos de 10 min
CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS	
Tempo aberto prolongado: tensão de aderência à tracção	$\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ após menos de 30 min
CARACTERÍSTICAS ADICIONAIS	
Elevada tensão de aderência inicial à tracção	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$
Elevada tensão de aderência à tracção após imersão em água	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$
Elevada tensão de aderência à tracção após envelhecimento por aquecimento	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$
Elevada tensão de aderência à tracção após ciclos gelo/degelo	$\geq 1 \text{ N/mm}^2$

Para além dos valores da tensão de aderência são ainda definidos padrões de rotura típicos para este tipo de revestimento.

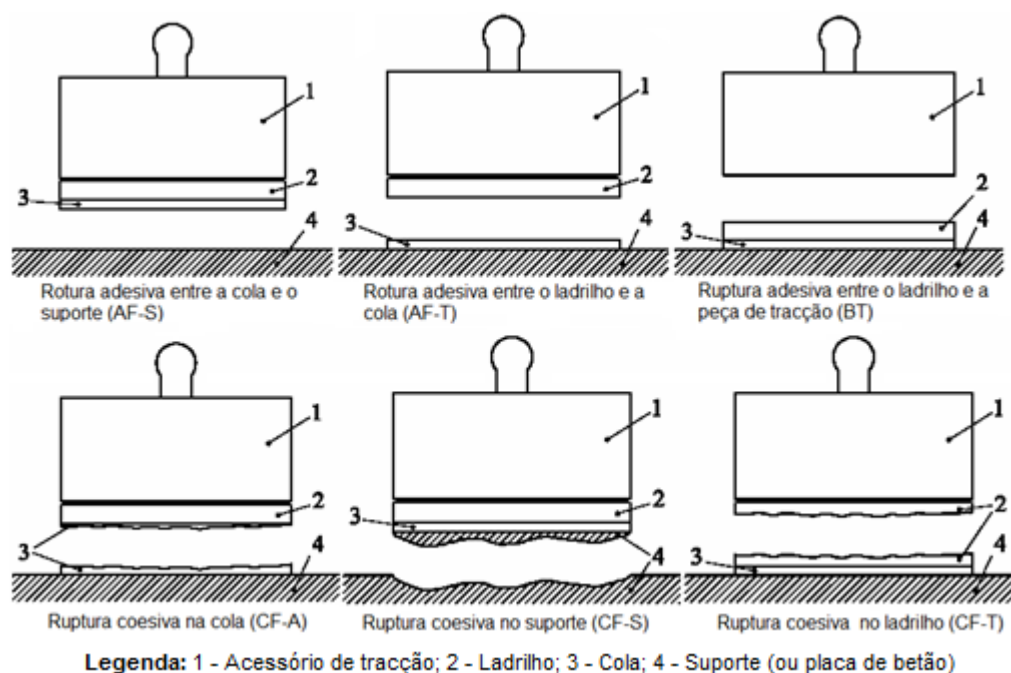


Fig. 13 – Padrões de ruptura e suas denominações [5]

2.5.3. ETICS

O ensaio de arrancamento especificado tem uma análise do tipo passa/falha, devendo cada uma das interfaces do sistema ETICS garantir uma aderência igual ou superior à a seguir definida:

Quadro 5 – Valores de referência para a tensão de aderência

Interface	Requisito mínimo
Aderência entre camada de base e o isolante térmico	0,08 N/mm ²
Aderência entre produto de colagem e o suporte	0,25 N/mm ² (condição seca) 0,08 N/mm ² 2h após imersão em água 0,25 N/mm ² 7h após imersão em água
Aderência entre produto de colagem e o isolamento	0,08 N/mm ² (condição seca) 0,03 N/mm ² 2h após imersão em água 0,08 N/mm ² 7h após imersão em água

A superfície mínima de contacto colado S, deverá ser superior a 20% sendo calculada com base na expressão (2):

$$S(\%) = \frac{\text{superfícies coladas}}{\text{superfície de isolamento}} \times 100 \quad (2)$$

Em que S é definido pela expressão (3) e B é a força de tracção.

$$\frac{B \cdot S}{100} \geq 0,03 N / mm^2 \quad (3)$$

Os sistemas que respeitam cumulativamente as três condições definidas consideram-se aptos para aplicação face às solicitações relacionadas com o vento em edifícios até 100 m.

2.5.4. QUADRO RESUMO

No quadro seguinte sintetizam-se os valores de referência adoptados com base na revisão bibliográfica efectuada.

Quadro 6 – Valores de referência para a tensão de aderência

Material	Valor de referência	Fonte
Cimento-cola	0,5 MPa	EN 12004
Rebocos Cimentícios e Monomassas	0,3 MPa (todos os resultados superiores a 0,2 MPa) Ou rotura coesiva pelo reboco	NF P 15-201
ETICS	0,08 N/mm ² ou então a rotura acontecer no isolamento térmico	ETAG 004

2.6. FACTORES QUE CONDICIONAM A FIABILIDADE DOS RESULTADOS

Os elementos que estudamos não são homogéneos, as suas propriedades variam e tanto a amostragem como a análise dos resultados têm associado a si um determinado grau de incerteza. A incerteza global do ensaio decorre da heterogeneidade intrínseca aos sistemas em estudo, do processo de amostragem e do método de análise. Estes factores influenciam de forma decisiva a tomada de decisões, Fig. 14.

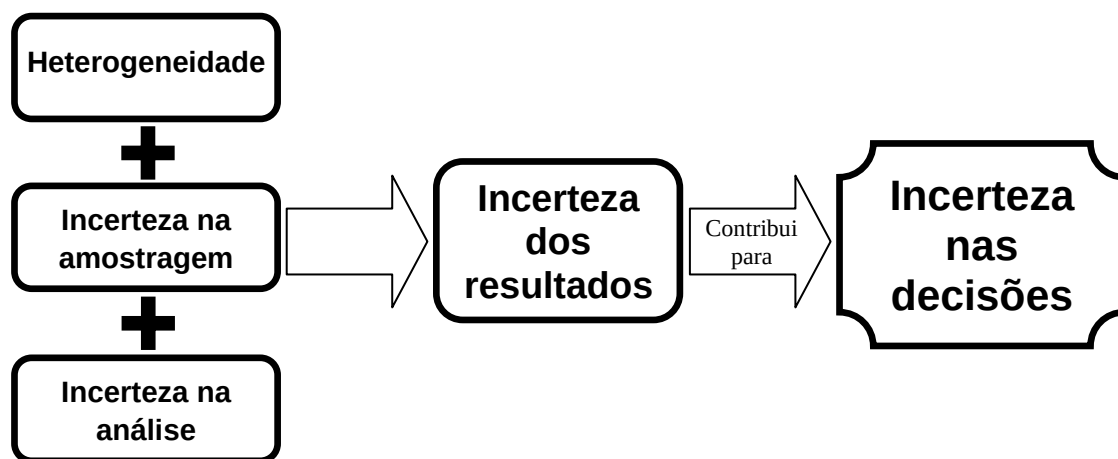


Fig. 14 – Cadeia de incerteza associada às decisões [21]

As principais variáveis introduzidas pela técnica de ensaio e que podem contribuir para a incerteza associada aos resultados são:

- as características da ligação entre a superfície do revestimento e o equipamento de ensaio;
- a técnica de pré-corte aplicada;
- a forma e secção das pastilhas metálicas utilizadas;
- a técnica de amostragem implementada;
- o equipamento de ensaio;

2.6.1. AMOSTRAGEM

As várias normas já analisadas [17] [15] referem que se devem evitar pontos singulares como extremidades ou padieiras de portas ou janelas, pois estes pontos não apresentam as mesmas características do restante elemento. Existem no entanto singularidade na zona corrente dos paramentos, principalmente em paredes de alvenaria, que não são normalmente visíveis no elemento terminado e que contribuem de forma decisiva para a heterogeneidade das suas propriedades.

A existência de juntas de assentamento é uma dessas singularidades, Fig. 15. Costa [22] estudou a variação do valor da tensão de aderência, σ_a , em ensaios realizados sobre juntas de assentamento e sobre blocos de alvenaria e constatou que a variação dos resultados chega a ser de 1:2 ($\sigma_a^{junta} / \sigma_a^{bloco} = 2,06$ no caso extremo).

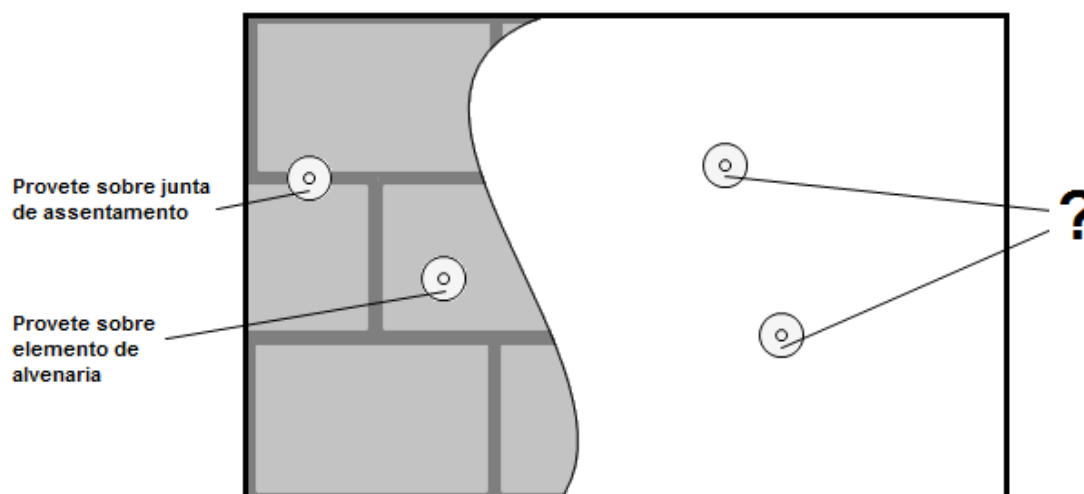


Fig. 15 – Distribuição dos provetes pelo elemento em análise, provete sobre junta de assentamento, provete sobre bloco de alvenaria e provetes com posição desconhecida sobre revestimento acabado (adaptado de [23])

Também a distribuição em altura dos corpos de prova tem influência na variabilidade dos resultados. Existem posições em que os operários não conseguem impor a mesma qualidade ao revestimento, quer seja pela sua própria posição, que pela existência de andaimes cujos patamares dificultam o acesso ao paramento. Gonçalves (citado em [22]) analisou este efeito tendo constatado que os melhores resultados (valor máximo da tensão de aderência) são obtidos numa faixa entre 1 m e 1,5 m de altura das fiadas.

2.6.2. PRODUTO DE COLAGEM DAS PASTILHAS METÁLICAS

Para se conseguirem resultados fiáveis é necessário minimizar a influência de todo o processo de ensaio no resultado. Neste contexto a colagem das pastilhas metálicas à superfície do revestimento é decisiva.

As várias normas de ensaio consultadas definem que a colagem das pastilhas metálicas deve ser feita por intermédio de uma cola de alta resistência baseada em resinas [17] [16] [15].

Os produtos habitualmente utilizados são baseados em resinas *epoxy* que apresentam resultados globalmente satisfatórios.

Um estudo comparativo entre colas baseadas em resinas *epoxy*, e outras que têm *poliéster* como principal constituinte permitiu analisar algumas características destes produtos que podem justificar a utilização de um ou de outro em diferentes situações [22].

Em termos de resultados não foram identificadas diferenças significativas entre os dois tipos de cola, no entanto o estudo aponta algumas desvantagens da resina *epoxy*:

- A baixa viscosidade do *epoxy* origina escorrimentos que podem ter influência na área ensaiada
- O tempo de secagem necessário é de no mínimo 12h contra a1h necessária para a secagem da resina de *poliéster*.

A Fig. 16 mostra a alteração da secção ensaiado aquando da aplicação de cola *epoxy*. Nos casos em que o ensaio é efectuado com aplicação de pré-corte a secção ensaiada é definida por este pré-corte.

Regista-se em alguns ensaios a escorrência da cola para o interior do corte, influenciando assim o resultado obtido [24].



Fig. 16 – Provetes após ensaio de arrancamento sem aplicação de pré-corte. Comparação entre secção extraída com a aplicação de cola de poliéster e cola epoxy

2.6.3. TÉCNICA DE PRÉ-CORTE E PASTILHAS METÁLICAS UTILIZADAS

As pastilhas metálicas a utilizar no ensaio são em geral circulares com 50 mm de diâmetro, é no entanto possível utilizar em alternativa pastilhas metálicas quadradas.

O valor da resistência à tracção tende a ser mais elevado em provetes circulares pois estes apresentam uma distribuição de tensões uniforme ao longo da interface [23], Fig. 17. Os provetes quadrados apresentam uma concentração de tensões nas extremidades que pode ainda ser intensificada pelas vibrações imposta pelo procedimento de corte.

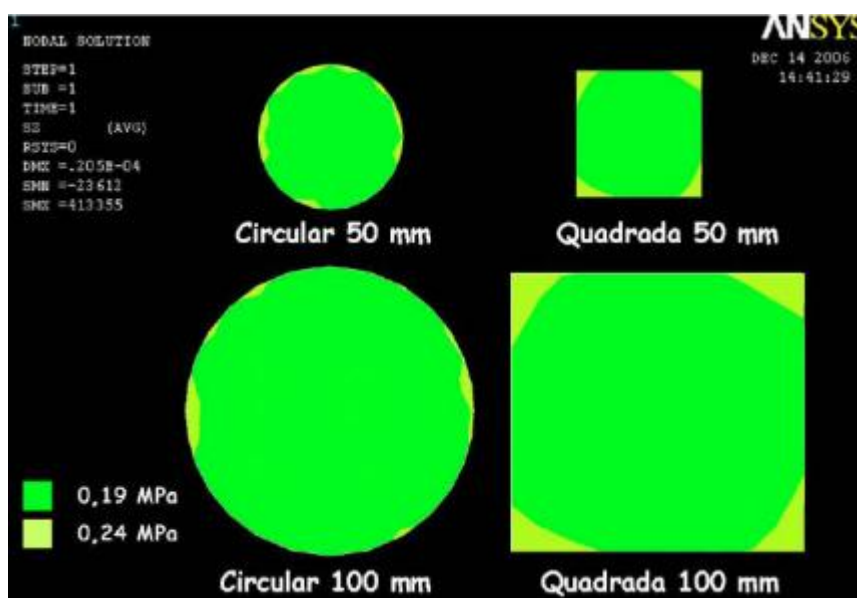


Fig. 17 – Distribuição de tensões na interface argamassa suporte para provetes com diferentes dimensões e formas [23]

Para eliminar a influência das zonas circundantes à colocação da pastilha metálica, é necessário proceder previamente a uma carotagem com forma e área correspondente à pastilha metálica que vai ser utilizada [7].

A norma *ASTM D 4541-02* [17] defende que a realização de pré-corte viola o princípio básico da avaliação *in-situ* pois a técnica de ensaio não deve interferir com o parâmetro a medir. O mesmo documento refere que, sempre que seja necessário proceder ao pré-corte, este deve ser realizado com extremo cuidado para evitar a micro-fissuração do revestimento. Note-se que, caso não haja pré-corte, a interpretação dos resultados tem de ser muito cuidadosa, não podendo haver comparação directa com os valores limite referidos em § 2.5.

2.6.4. IDADE DO SISTEMA

Alguns autores [25] defendem que a fixação dos valores de referência para aderência de revestimento nos 28 dias pode ser demasiado conservativa. O estudo realizado por estes autores revelou uma significativa evolução da aderência dos revestimentos entre os 28 dias e os 3 anos. A Fig. 18 mostra essa evolução para um revestimento aplicado sobre blocos de betão.

Podemos ver que aos 28 dias alguns dos painéis ensaiados não respeitavam os limites mínimos estabelecidos mas aos 3 anos todos os painéis apresentavam valores muito superiores (2.4 vezes maiores em média).

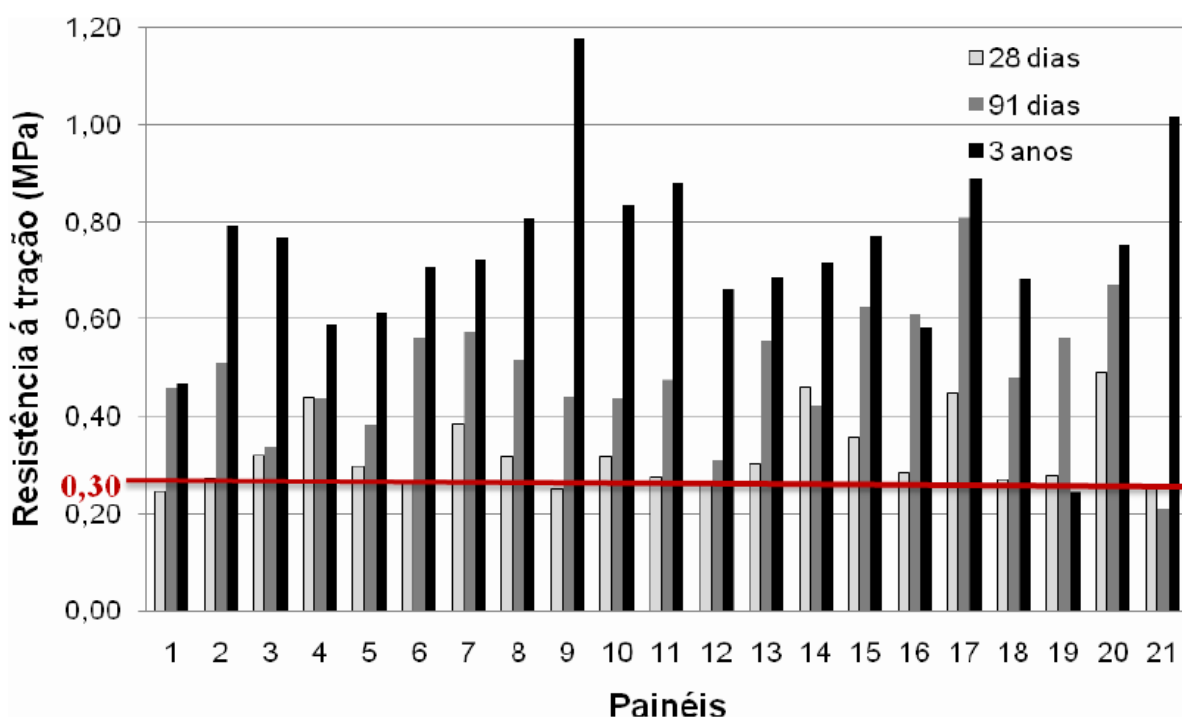


Fig. 18 – Evolução dos valores de resistência de aderência de revestimento aplicado sobre blocos de betão [25]

Estas conclusões levam os investigadores [25] a recomendar que valores inferiores ao valor de referência, em inspecções a edifícios novos, sejam monitorizados aos 56 e 91 dias e só após conhecimentos da evolução devem ser tomadas medidas.

2.7. POTENCIALIDADES DO ENSAIO DE ARRANCAMENTO POR TRACÇÃO

O ensaio de arrancamento por tracção permite a caracterização laboratorial de diversos tipos de materiais, desde argamassas de reboco tradicionais e monocamada, ladrilhos cerâmicos colados, placas de pedra coladas até a sistemas mais complexos como o sistema ETICS. É possível desta forma avaliar a qualidade dos materiais uma vez que a resistência à tracção é uma das principais características anunciadas pelos fabricantes.

A técnica é adequada à aplicação *in-situ* como forma de diagnosticar patologias existentes e no controlo de qualidade de materiais em condições reais de uso

Para além de permitir a quantificação directa da resistência ao arrancamento, o ensaio de arrancamento por tracção permite obter, por correlação, outros parâmetros.

No caso específico dos rebocos, Flores-Colen [2] estudou a relação entre diferentes parâmetros que caracterizam o comportamento dos rebocos, tendo constatado que a resistência ao arrancamento apresenta uma elevada correlação ($r^2 > 0.7$) com a resistência à compressão. Este tipo de estudo poderá ser interessante na medida em que permite reduzir o número de ensaios a realizar por se poder obter mais informação a partir de cada um deles.

Alguns estudos têm tirado partido desta técnica como auxiliar para a definição do tempo de vida útil dos sistemas de revestimento [26].

Dois estudos [27] [6] realizados no LFC-FEUP procuraram estabelecer relações entre parâmetros medidos em laboratório, recorrendo a ciclos de envelhecimento artificial, e os mesmos parâmetros medidos em amostras sujeitas a envelhecimento natural. O objectivo do estudo passa pelo estabelecimento de uma relação entre a idade do material sujeito a condições normais de envelhecimento, e o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado a que a amostra teria que ser sujeita em laboratório para atingir o mesmo estado.

A Fig. 19 mostra a aplicação desse estudo à avaliação da tensão de aderência. No quadrante direito do gráfico podemos observar a diminuição da tensão de aderência com um número crescente de ciclos de envelhecimento. Paralelamente, no quadrante esquerdo do gráfico são representados os valores da tensão de aderência medidos em intervalos regulares ao longo de vários anos nas amostras da estação de envelhecimento natural.

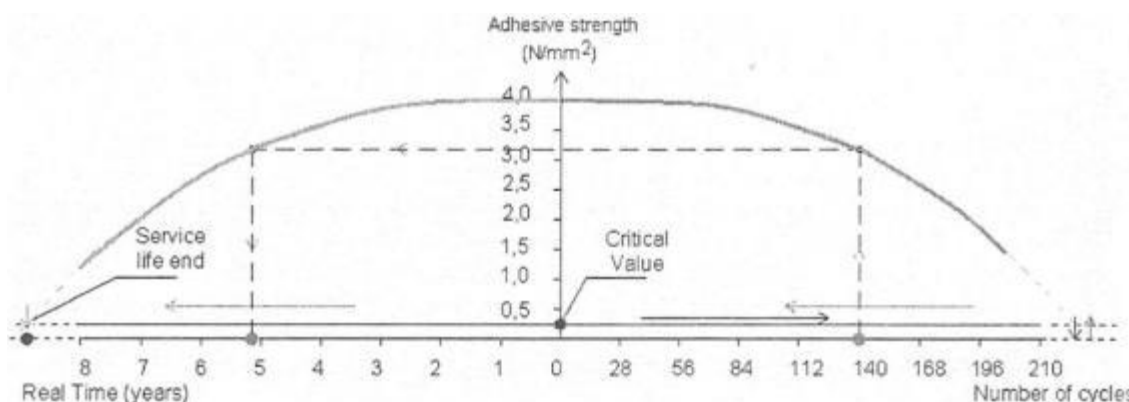


Fig. 19 – Correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de exposição natural - Modelo de Previsão [26]

Os autores do estudo reconhecem no entanto algumas limitações à sua aplicação. Por um lado, em alguns casos não é possível estabelecer uma curva de degradação para os parâmetros avaliados, nomeadamente a aderência, devido ao efeito de factores exógenos. Por outro lado, a definição do modelo implica a realização de um longo período de avaliação pela realização de ensaios em amostras envelhecidas de forma natural.

3

AMOSTRA – ENSAIOS REALIZADOS PELO LFC-FEUP

3.1. ENQUADRAMENTO

Sendo o principal objectivo deste trabalho conhecer o ensaio de arrancamento por tracção, suas características, procedimentos, e sobretudo suas limitações e campo de aplicação, interessa portanto analisar os dados obtidos a partir desta metodologia.

Com este objectivo foi compilada a informações disponível no arquivo de relatórios técnicos do LFC-FEUP referente a estudo de casos em que esta metodologia foi aplicada.

A maioria dos dados corresponde a inspecções a edifícios em serviço pelo que os resultados obtidos são resultado dos diversos factores que condicionam o comportamento dos materiais de revestimento, como sejam, a qualidade inicial dos materiais e a sua forma de aplicação, a idade do edifício, as operações de manutenção a que foi sujeito, e as condições de exposição das fachadas. Os resultados dos ensaios não podem portanto ser comparados directamente entre si em termos absolutos, uma vez que as condições a que cada paramento esteve sujeito são únicas e impossíveis de replicar com precisão. Tentou-se então recolher o máximo de informação possível sobre cada ensaio, de forma a conhecer as condições que possam ter influenciado os resultados.

A ficha de ensaio do LNEC [13] indica que o relatório de ensaio deve incluir:

- referência a esse documento;
- a designação do produto ensaiado;
- indicação de eventuais alterações efectuadas ao procedimento de ensaio;
- a identificação dos materiais de suporte ensaiados;
- a dimensão dos provetes correspondentes a cada tipo de material;
- uma descrição sumária das operações inerentes à preparação e aplicação do revestimento;
- a designação identificativa da cola utilizada;
- os valores individuais das determinações e o valor médio da tensão de aderência, bem como a indicação da tipologia de rotura e a data da realização do ensaio;

O RILEM [14] acrescenta ainda a necessidade de uma descrição do local em especial do elemento construtivo em análise, a data e hora das duas fases do ensaio (colagem das pastilhas metálicas e posterior arrancamento), especificando ainda a precisão necessária nos resultados ($0,05 \text{ N/mm}^2$ para os resultados individuais e $0,1 \text{ N/mm}^2$ para a média dos valores válidos obtidos).

Como foi referido anteriormente, a informação recolhida encontrava-se algo dispersa e na sua forma original não respondia às necessidades deste trabalho. Para tornar a informação analisável no seu conjunto foi criada uma base de dados com os seguintes campos:

- Identificação do ensaio;
- Ano de ensaio;
- Tipo de ensaio;
- Condições de ensaio;
- Revestimento;
- Suporte;
- Sistema construtivo;
- Idade do revestimento;
- Notas;
- Orientação;
- Pré-corte;
- Zona;
- Interface de rotura;
- Tensão de rotura;

O campo *identificação do ensaio* serve de ligação entre a base de dados criada e os relatórios originais, sendo a única referência explícita a esta informação.

No campo *Ano de ensaio* é identificado o ano em que o ensaio foi realizado ou pelo menos em que o relatório do mesmo foi produzido.

Em *Tipo de ensaio* regista-se se o relatório é referente a um ensaio *in-situ* ou laboratorial sendo referidas em *Condições de ensaio* as condições a que o provete foi sujeito antes do ensaio, nomeadamente se foram realizados ciclos de envelhecimento acelerado.

É então referido o *Sistema construtivo* em estudo com identificação dos materiais de *Revestimento* e *Suporte*.

No campo *Notas* são colocadas todas as informações adicionais, nomeadamente, alterações introduzidas no procedimento de ensaio normalizado.

Foi também registada a *Orientação* dos paramentos e o tipo de *Pré-corte* realizado em cada amostragem.

Em *Zona* são definidos conjuntos de resultados realizados em condições idênticas no que diz respeito à localização e orientação do paramento, do tipo de matérias envolvidos e do pré-corte realizado. Toda a análise quantitativa incidirá sobre estes conjuntos de valores e sua relação com os resultados individuais.

Por fim é registada a *Interface de rotura* principal, e secundária sempre que aplicável, e o valor da *Tensão de rotura* em MPa.

Após compilar a informação, houve a necessidade de criar fichas que sistematizassem os dados considerados relevantes permitindo um fácil acesso à informação. Estas fichas podem ser consultadas no capítulo 3.3.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Foram analisados resultados de 23 boletins de ensaio representando 19 inspecções *in-situ* e 4 estudos laboratoriais.

Numa mesma inspecção são por vezes analisadas diferentes zonas dos edifícios encontrando-se assim diferentes condições de exposição e mesmo diferentes soluções construtivas em alguns casos. Também no caso de estudos laboratoriais são analisadas diferentes situações, quer ao nível dos materiais, quer ao nível de condições de envelhecimento. Para reflectir de uma forma mais correcta o caso em estudo optou-se por fazer incidir a análise não nos dados agrupados por relatório, mas sim nos grupos (zonas) definidas em cada um destes procurando isolar o maior número possível de variáveis que contribuem para a evoluções da aderência.

Assim sendo, estamos perante uma amostra de 84 casos de estudo, correspondendo a 63 ensaios *in-situ* e 21 ensaios laboratoriais.

No que se refere aos materiais de revestimento, agrupou-se a amostra em três grupos:

- *Rebocos*, grupo que engloba rebocos tradicionais quer de base cimentícia, quer de cal e monomassas;
- *Cimentos-cola*, em que se agrupam revestimentos descontínuos aderentes, como ladrilhos cerâmicos ou placagens de pedra;
- Num terceiro grupo denominado, *Outro*, foram agrupados os restantes revestimentos, que pela sua menor incidência não permitem uma análise quantitativa satisfatória, como é o caso do sistema ETICS, reboco interior e revestimento interior de um reservatório.

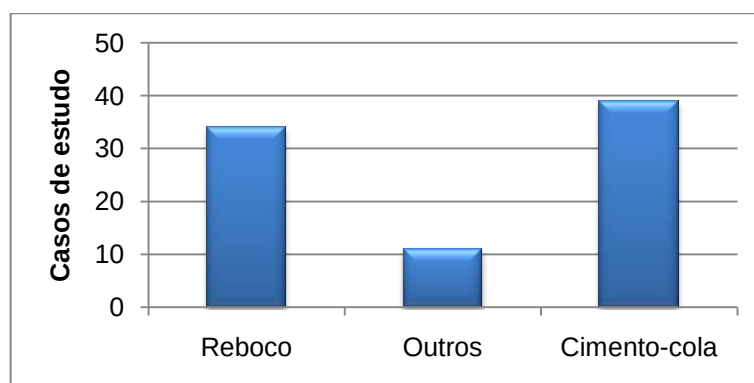


Fig. 20 – Dimensão da amostra em termos de tipo de revestimento

Segundo o estudo de Paes Afonso [28], baseado nos Censos 2001, o revestimento com maior incidência nas construções portuguesas é o reboco tradicional. Este facto está também patente nos ensaios analisados, representando o conjunto *Reboco* 40 % da amostra.

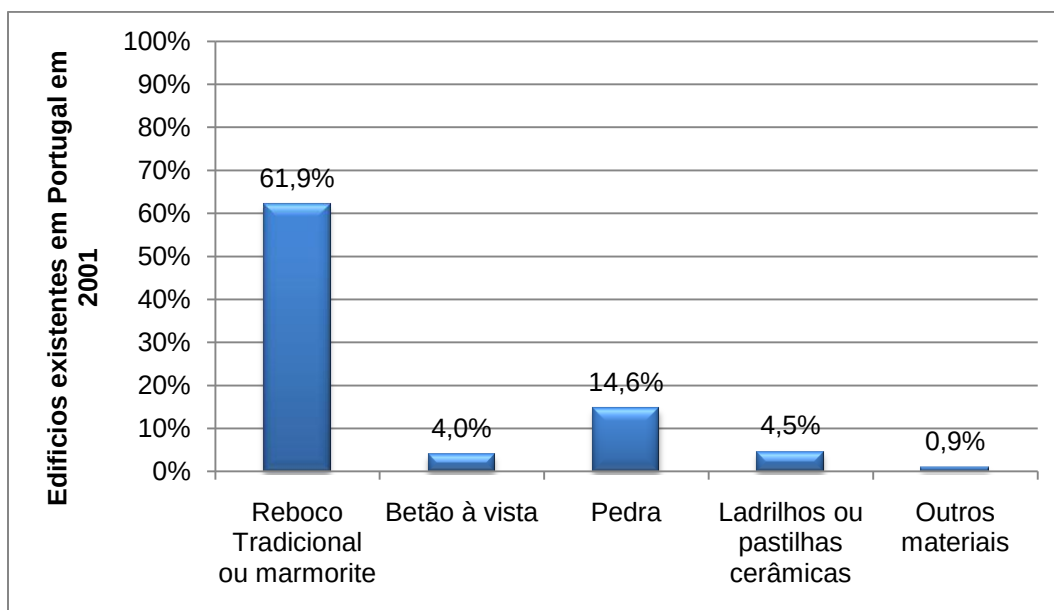


Fig. 21 – Revestimentos de fachada em Portugal, dados dos Censos 2001 [28]

A categoria *Cimento-cola* definida neste texto, não tem uma correspondência directa na divisão de materiais de revestimento adoptada nos Censos 2001. Fazendo uma análise meramente indicativa, podemos dizer que esta categoria corresponderia a *Ladrilhos ou pastilhas cerâmicas* e ainda a uma parte dos revestimentos em pedra, uma vez que este grupo incluirá os edifícios em alvenaria de pedra não revestida e os edifícios revestidos com placas de pedra, tanto fixadas mecanicamente como coladas. Apenas este último subgrupo – placas de pedra coladas – faz parte do campo de aplicação do ensaio de arrancamento.

Podemos então inferir que em 5 a 10% dos sistemas de revestimento de fachadas em Portugal, à data dos últimos censos, se recorre ao cimento-cola como constituinte do sistema de revestimento.

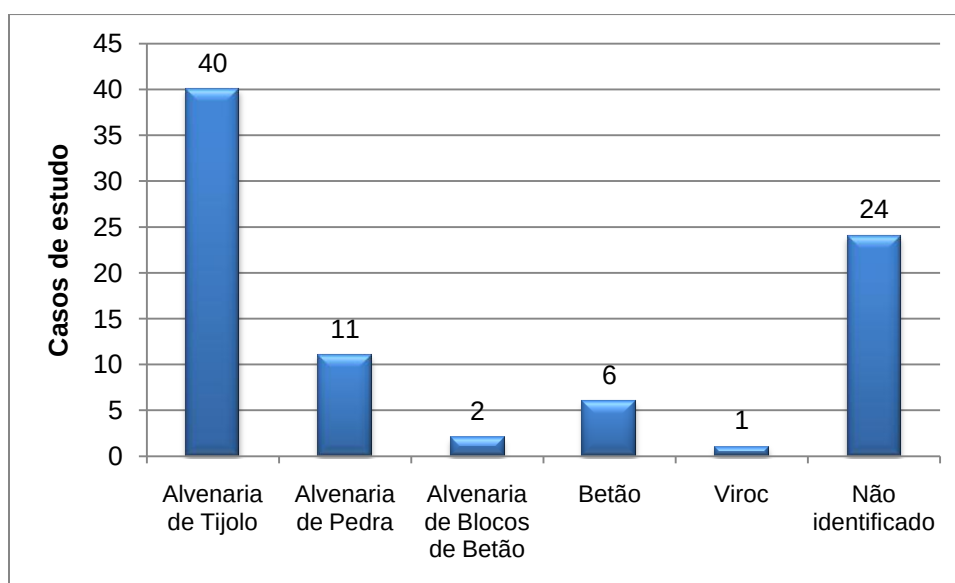


Fig. 22 – Dimensão da amostra em função do tipo suporte

No que diz respeito ao suporte notou-se uma menor diversidade de soluções, sendo que se privilegiam os sistemas construtivos tradicionais como alvenaria de tijolo e de pedra. Numa das inspecções realizadas observou-se a execução de um revestimento de fachada em ladrilhos cerâmicos colados com cimento-cola sobre placas *VIROC* suportadas por uma estrutura metálica fixa à fachada original. Este constitui o único exemplo de um suporte não tradicional.

Em 29% dos registos que constituem a amostra não foi possível identificar o material de suporte do sistema de revestimento. Provavelmente estes casos correspondem a alvenarias ou paredes de betão.

3.3. FICHAS DE ENSAIO

O ensaio de arrancamento é geralmente parte de um estudo mais abrangente que incide sobre várias características consideradas importantes para o caso em análise. Se por um lado nem toda a informação contida nos estudos é relevante no contexto deste trabalho, por outro lado os dados mais importantes encontravam-se dispersos.

Surgiu então a necessidade de criar fichas de ensaio que sintetizam a informação recolhida. Pretende-se criar um instrumento de fácil compreensão que permita uma leitura imediata dos elementos chave necessários para a análise do ensaio.

Os estudos efectuados pelo LFC-FEUP têm muitas vezes um cariz confidencial pelo que foram suprimidas todas as informações identificativas dos edifícios objecto do estudo.

Os boletins de ensaio estão estruturados em 4 áreas, um cabeçalho, um esquema construtivo, um gráfico de síntese dos resultados e um campo destinado a outras observações.

No cabeçalho podem encontrar-se as seguintes informações:

- *Ficha de Ensaio N.º* - onde é identificada a ficha. Este número sequencial é atribuído por ordem cronológica. Trata-se da chave de ligação entre os dados contidos neste documento e a base de dados original;
- *Data de Ensaio*: - é indicado o ano em que o ensaio decorreu. Entre parêntesis é registado o tempo de secagem do produto de colagem das pastilhas metálicas;
- *Tipo de Ensaio*: neste ponto indica-se se estamos perante um ensaio laboratorial ou *in-situ*;
- *Elemento construtivo*: este ensaio pode ser aplicado a revestimentos de diferentes elementos construtivos (paredes, pavimentos, etc.), essa informação é registada neste ponto.
- *Idade*: Neste ponto é registada a idade do revestimento ou do edifício dependendo da informação disponível;
- *Material de revestimento*: É identificado o tipo de material de revestimento utilizado;
- *Suporte*: identifica o tipo de suporte utilizado;

Segue-se um esquema construtivo (sem escala) do sistema de revestimento. Este esquema é constituído por uma vista frontal da zona de colagem da pastilha metálica onde se pode observar o tipo de pastilha utilizado, bem como o tipo de pré-corte realizado. À direita temos um corte do elemento construtivo com identificação das várias camadas que o constituem. Foi utilizada uma numeração das camadas e interfaces para permitir uma fácil identificação do mecanismo de rotura. A numeração progride do exterior para o interior.

O primeiro elemento (número 1) comum a todos os boletins e representa a ligação (cola) do equipamento de ensaio ao revestimento. O sistema de numeração adoptado tem a particularidade de as roturas adesivas corresponderem sempre a números ímpar e as roturas coesivas (no seio de uma determinada camada) corresponderem a números par.

Surge então um gráfico que faz a síntese dos resultados de cada boletim de ensaio e suas variáveis.

No campo *Observações* são registadas notas adicionais presentes nos boletins de ensaio originais e que auxiliam na compreensão da divisão em zonas efectuada.

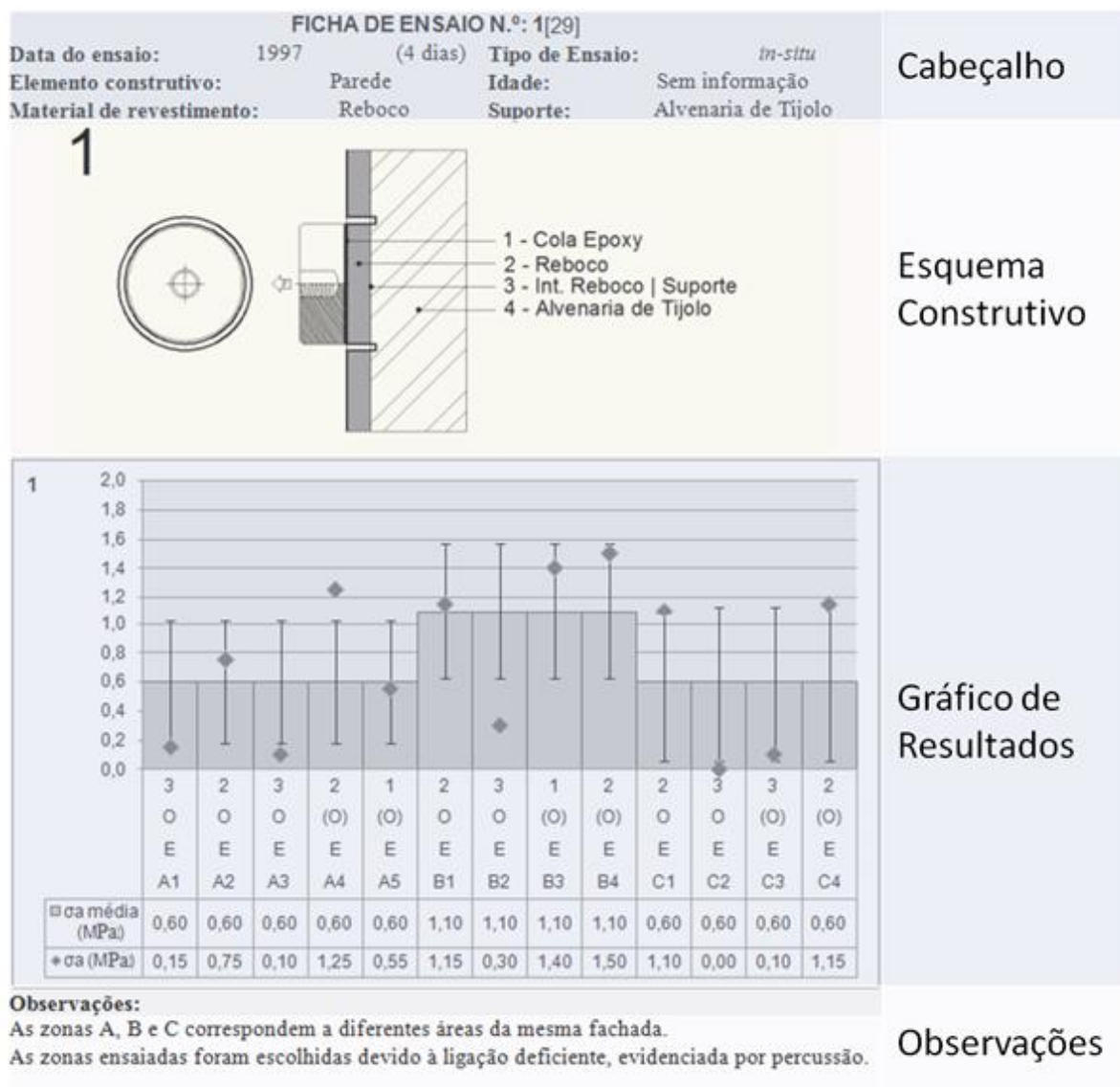


Fig. 23 – Exemplo de ficha de ensaio com identificação das suas partes

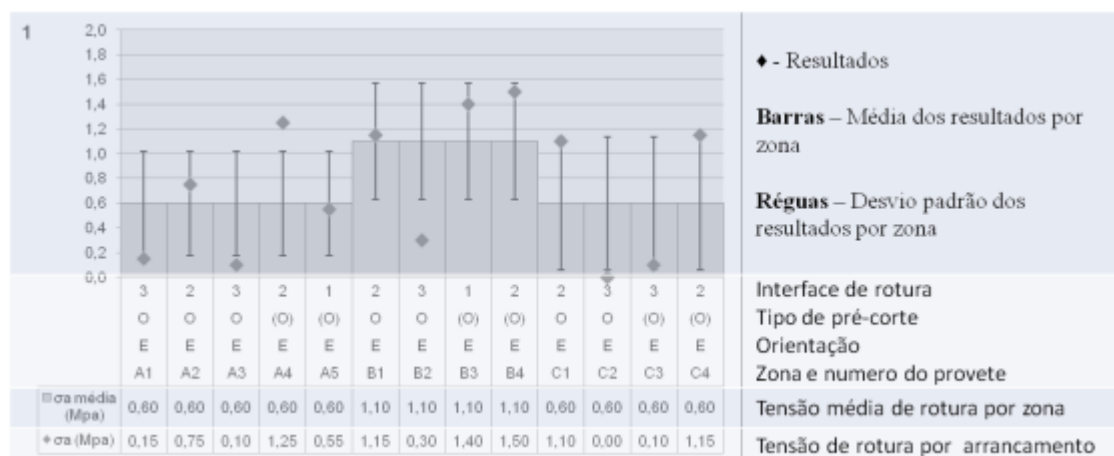


Fig. 24 – Exemplo de gráfico contido nas fichas de ensaio

Na Fig. 24, encontra-se um exemplo do gráfico presente nas fichas de ensaio. Este gráfico condensa muita da informação necessária para interpretar os resultados do ensaio de arrancamento.

Em primeiro lugar são representados graficamente os valores da tensão em MPa de cada arrancamento (♦), Pode também observar o valor médio de cada paramento (barras) e o respectivo desvio padrão (régua centrada na média).

Como legenda do eixo das abcissas tem-se:

- **Interface de rotura:** nesta linha são representadas as interfaces em que ocorreu a rotura do provete, segundo a denominação adoptada no esquema construtivo.
- **Pré-corte:** O pré-corte circular é representado pelo símbolo “O”, enquanto o pré corte quadrangular é representado pelo símbolo “□”. Sempre que o pré-corte não seja efectuado até ao suporte, os símbolos anteriormente identificados são colocados entre parêntesis: (O), (□).
- **Orientação:** Identifica a orientação do paramento em estudo segundo a seguinte convenção: N – Norte; S – Sul; E – Este; O – Oeste e respectivas conjugações. Houve também a necessidade de incluir a designação In, representando revestimentos interiores e L para identifica os ensaios laboratoriais.
- **Zona:** É identificada a zona em que foi realizado o ensaio e o número do provete em questão.
- σ_a (MPa): Tensão de rotura registada em cada determinação;
- $\sigma_a^{média}$ (MPa): Tensão de rotura média das determinações efectuadas numa zona

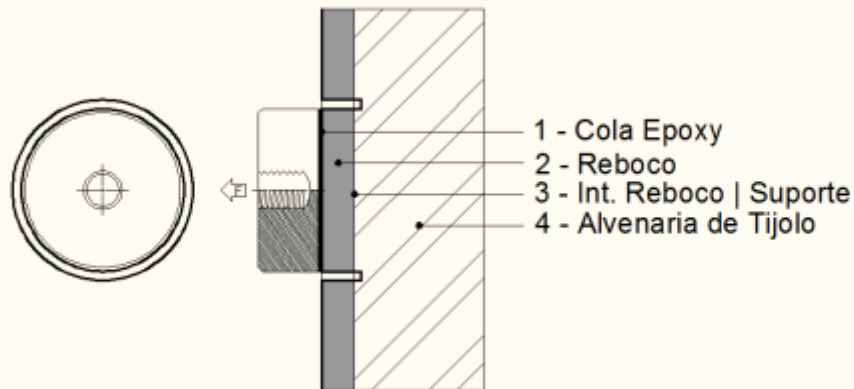
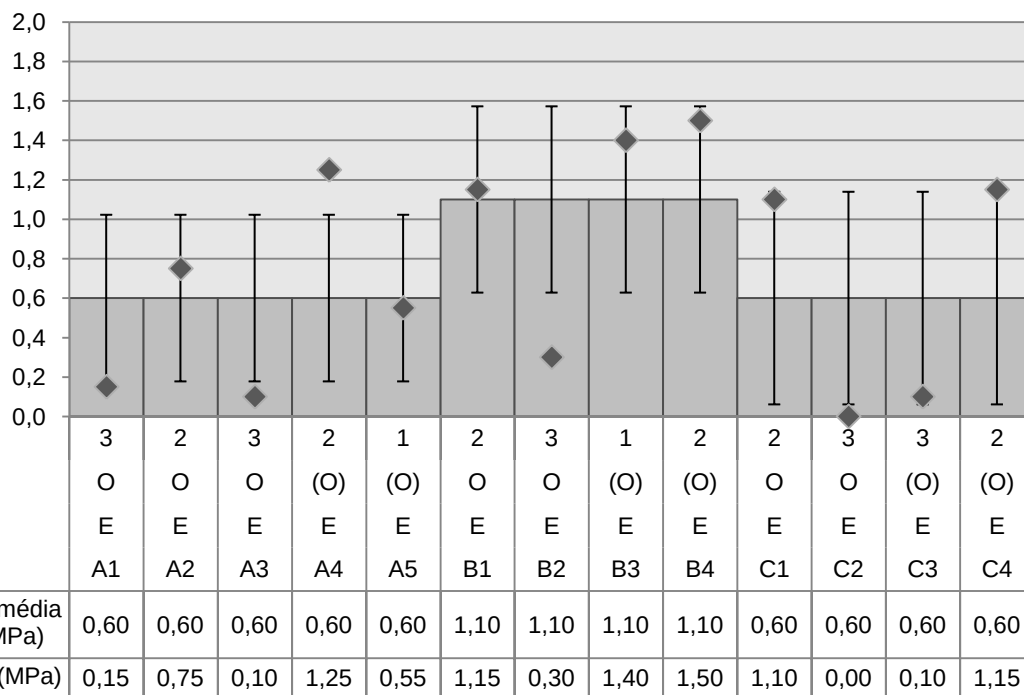
O resultado do ensaio em termos de tensão está presente neste gráfico não só na sua representação gráfica, mas também com a indicação dos valores numéricos arredondados. Os valores individuais de cada determinação são arredondados ao múltiplo de 0,05 MPa mais próximo e os valores médios por zona são arredondados ao múltiplo de 0,1 MPa mais próximo.

Analisando este exemplo concreto podemos verificar que o estudo incidiu sobre três paramentos – A, B e C, todos eles na fachada Este do edifício. Em todos os provetes foi realizado pré-corte circular, sendo que em A4 e A5 não foi atingido o suporte. Sobre o paramento A foram realizados 5 arrancamentos dos quais resultou uma tensão média de 0,6 MPa.

Nas próximas páginas encontram-se as 23 fichas de ensaio elaborados.

FICHA DE ENSAIO N.º: 1[29]

Data do ensaio: 1997 (4 dias) **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Reboco **Suporte:** Alvenaria de Tijolo

1

1

Observações:

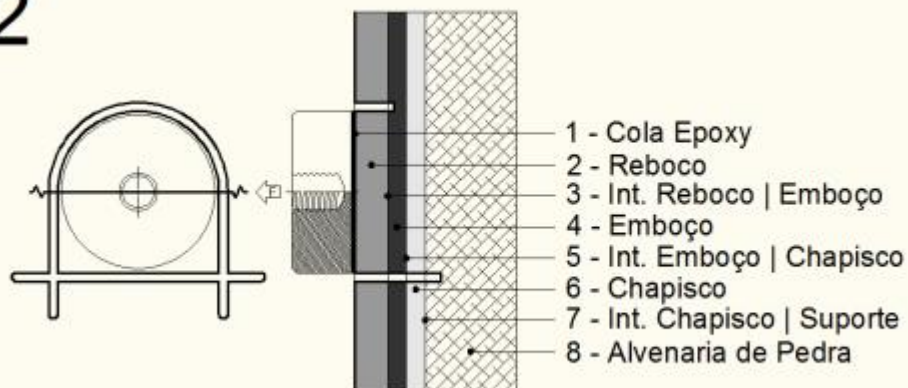
As zonas A, B e C correspondem a diferentes áreas da mesma fachada.

As zonas ensaiadas foram escolhidas devido à ligação deficiente, evidenciada por percussão.

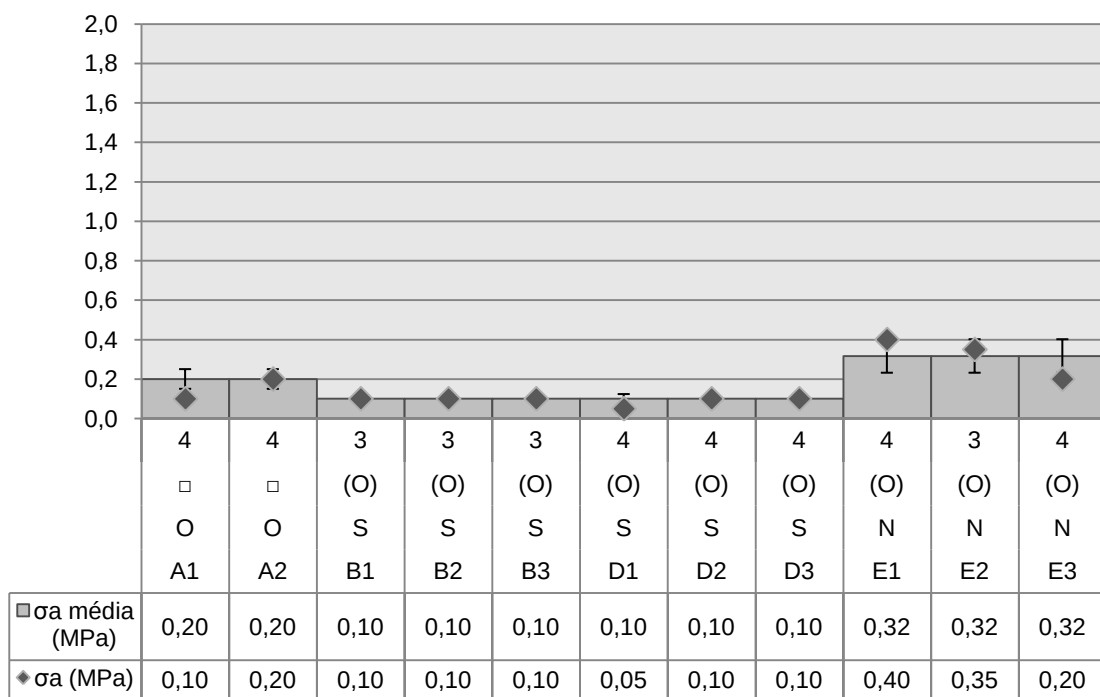
FICHA DE ENSAIO N.º: 2[30]

Data do ensaio: 1998 (3 dias) **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Reboco **Suporte:** Alvenaria de Pedra

2



2

**Observações:**

Na zona A foi efectuado pré corte quadrangular, com aplicação de pastilhas metálicas redondas, conforme representado na parte inferior do esquema.

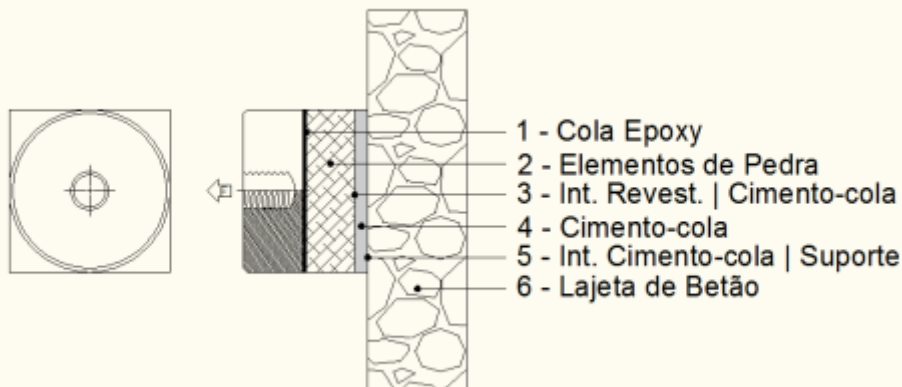
As zonas B e D apesar de terem a mesma orientação correspondem a locais diferentes.

O paramento C não foi ensaiado porque se detectou por percussão que o revestimento se encontrava dessolidarizado.

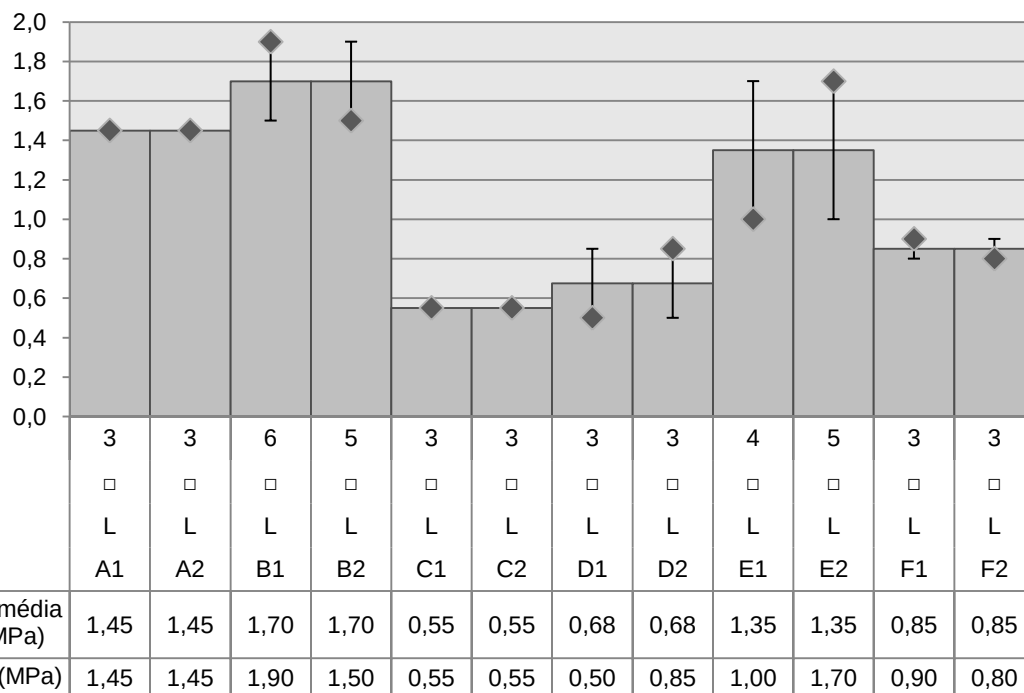
FICHA DE ENSAIO N.º: 3[31]

Data do ensaio: 1998 **Tipo de Ensaio:** Laboratório
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Elementos de Pedra **Suporte:** Betão

3



3

**Observações:**

Ensaio efectuado

A – Aderência Inicial

B – Solicitação temperatura

C – Solicitação humidade

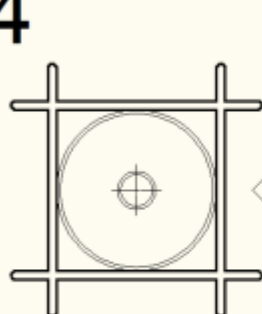
D – Solicitação choque térmico

E – Solicitação choque térmico 2

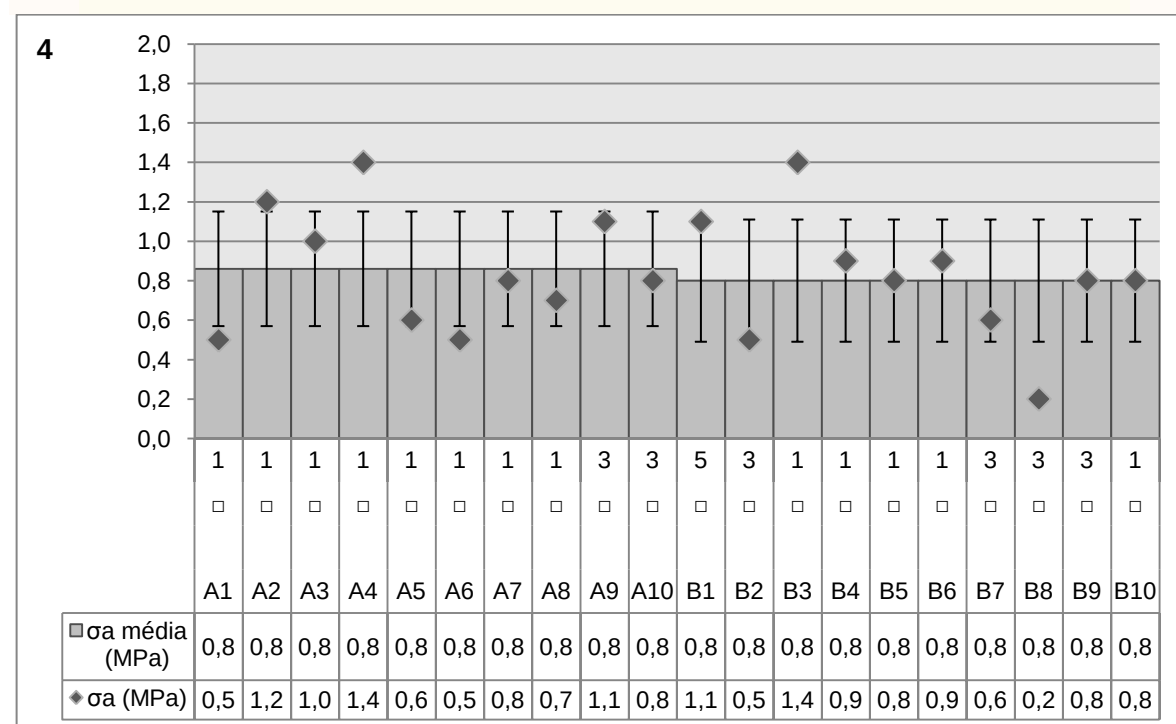
F – Solicitação Gelo/Degelo

FICHA DE ENSAIO N.º: 4[32]			
Data do ensaio:	2000	Tipo de Ensaio:	<i>in-situ</i>
Elemento construtivo:	Parede	Idade:	Sem informação
Material de revestimento:	Ladrilhos cerâmicos	Suporte:	Alvenaria de tijolo

4



- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Ladrilhos cerâmicos
- 3 - Int. Revest. | Cimento-cola
- 4 - Cimento-cola
- 5 - int. Cimento-cola | Reboco
- 6 - Reboco
- 7 - int. Reboco | Suporte
- 8 - Alvenaria de Tijolo

**Observações:**

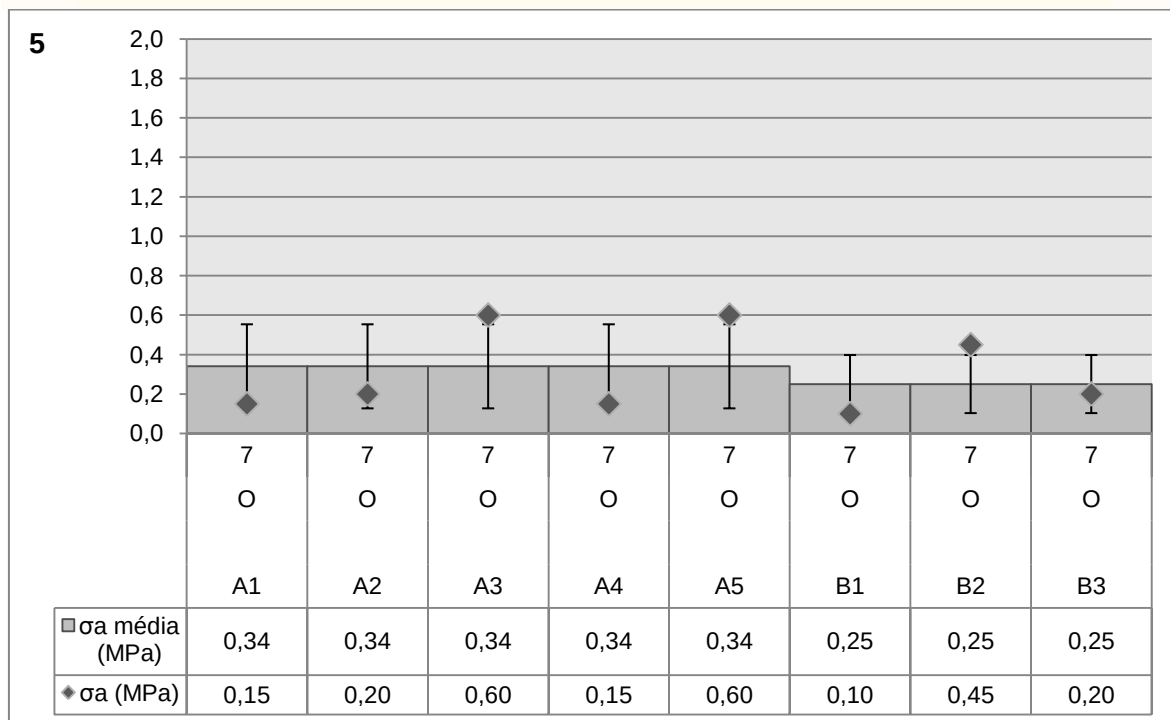
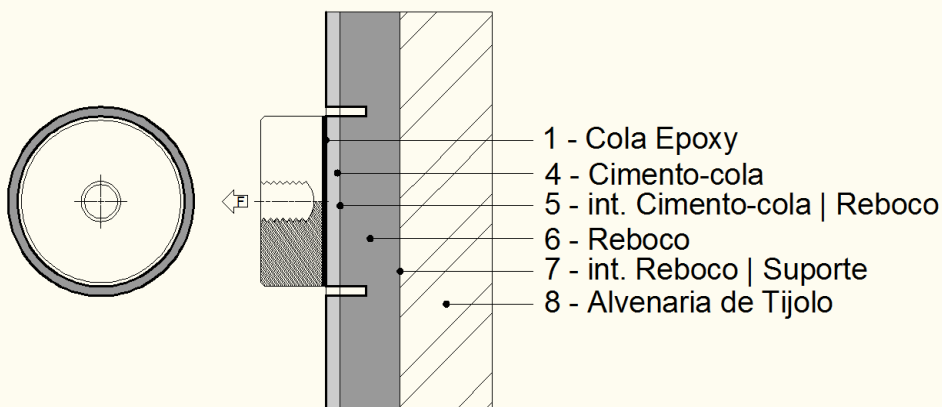
A zona A corresponde a uma área que havia sido reabilitada.

A zona B mantinha o revestimento original.

A1 e A6- Ensaio repetidos sobre azulejos que nos primeiros ensaios não foram arrancados; A9-A parcela de azulejo que foi arrancada partiu e separou-se da restante superfície inicialmente prevista para o ensaio; B6-Uma parte do azulejo que servia de apoio a uma das pernas do equipamento partiu mas estava colada ao suporte; B7-Uma parte do azulejo que servia de apoio a uma das pernas do equipamento partiu pois não se encontrava colada ao suporte; B8-A espessura do cimento-cola era reduzida;

FICHA DE ENSAIO N.º: 5[24]

Data do ensaio:	2000	(4 dias)	Tipo de Ensaio:	<i>in-situ</i>
Elemento construtivo:	Parede		Idade:	Sem informação
Material de revestimento:	Elementos de pedra Ladrilhos Cerâmicos		Suporte:	Alvenaria de tijolo

5**Observações:**

A zona A tem um acabamento em placas de granito fixadas por colagem e por um parafuso no centro.

A Zona B tem um acabamento em elementos cerâmicos.

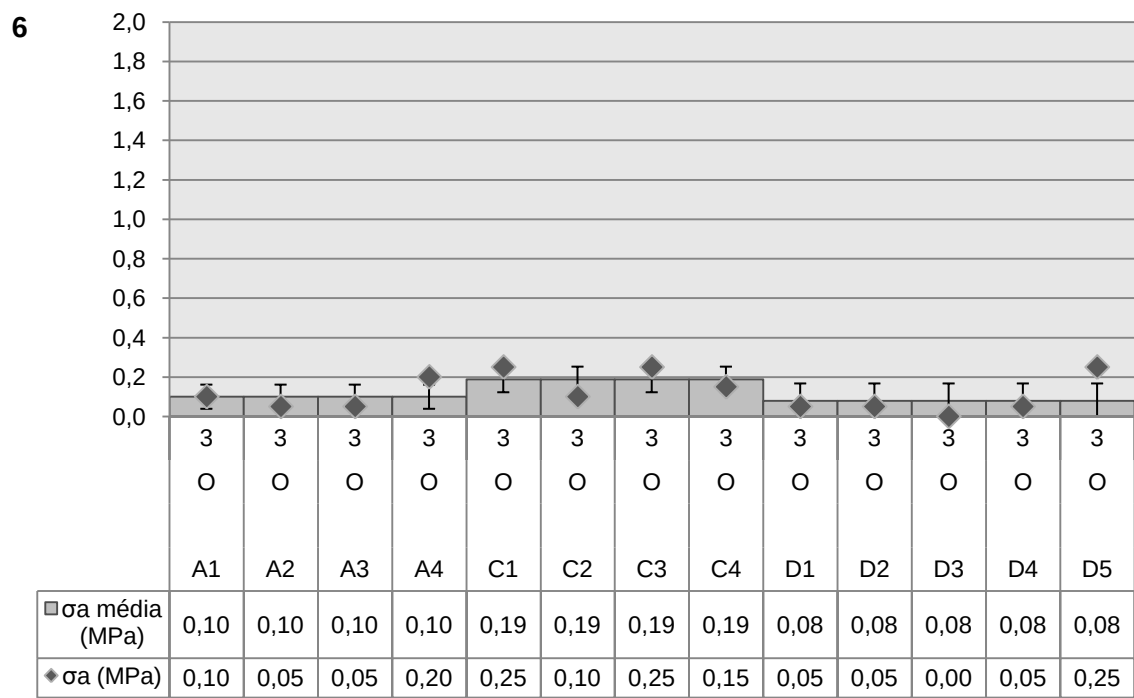
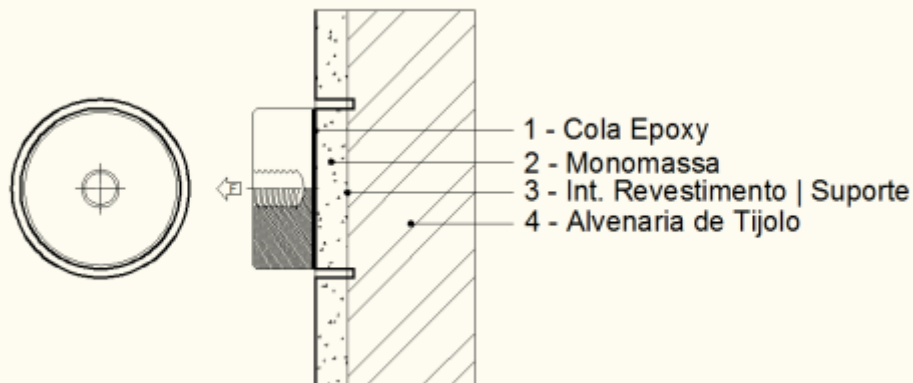
Ambos os acabamentos foram removidos antes da execução do ensaio.

Nos ensaios A1, A2 e A4 os resultados sofreram alguma influência da cola utilizada para fixar as pastilhas metálicas, o que, no entanto, conduz a valores por excesso.

FICHA DE ENSAIO N.º: 6[33]

Data do ensaio: 2001 (2 dias) Tipo de Ensaio: *in-situ*
 Elemento construtivo: Parede Idade: Sem informação
 Material de revestimento: Monomassa Suporte: Alvenaria de Tijolo

6

**Observações:**

As zonas definidas representam áreas diferentes do mesmo paramento.

Zona A – Cunhal em zona fissurada, 1,5 m de altura.

Zona B – Zona em que o revestimento tinha sido reparado destacou-se antes do ensaio

Zona C – Próximo da extremidade da parede, sem problemas aparentes, 1,5 m de altura.

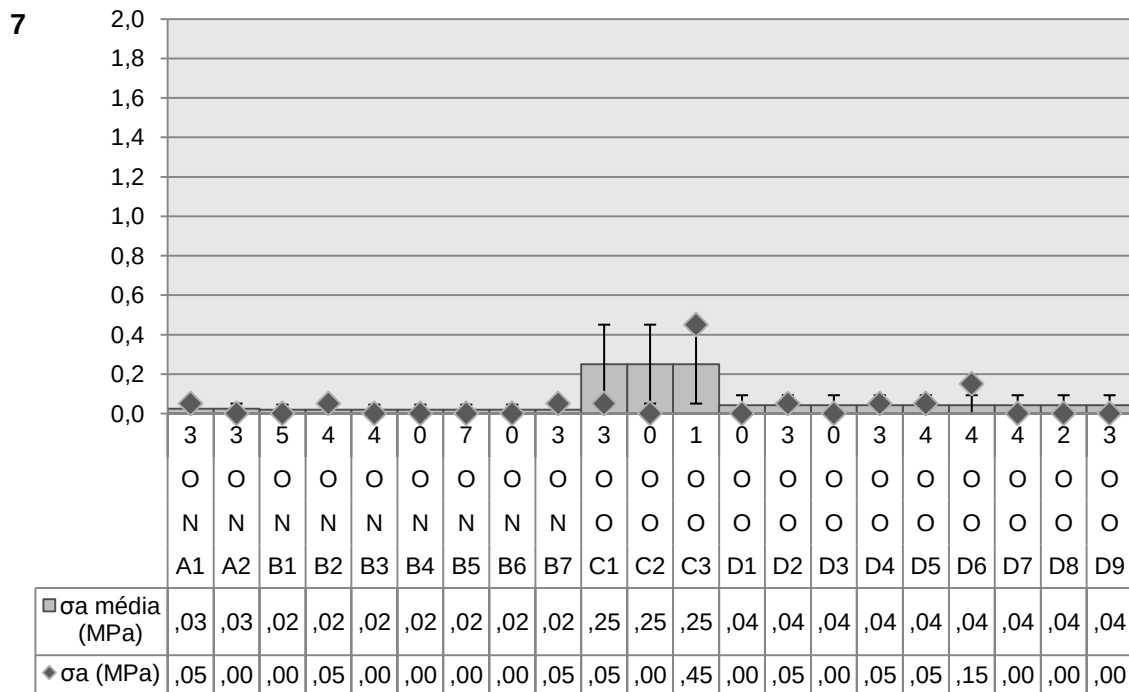
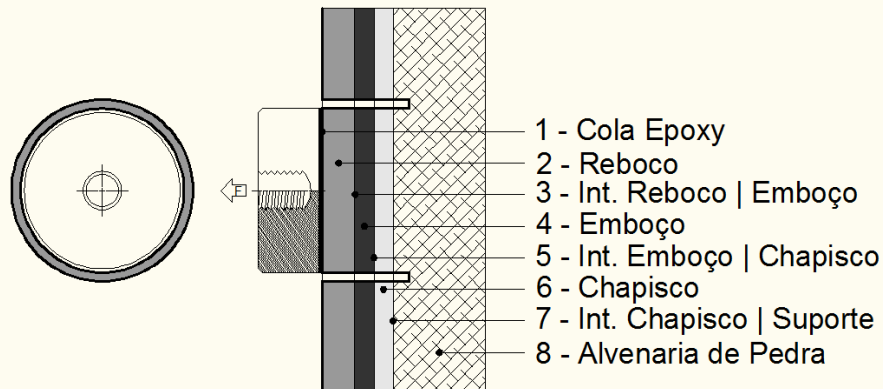
Zona D – 3 m de altura zona escurecida.

A4, C1, C3, D4 e D5-uma parte do suporte coincidiu com as juntas de argamassa entre elementos de alvenaria;

D2-encontrava-se danificado.

FICHA DE ENSAIO N.º: 7[34]

Data do ensaio: 2001 **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Reboco **Suporte:** Alvenaria de Pedra

7

Observações:

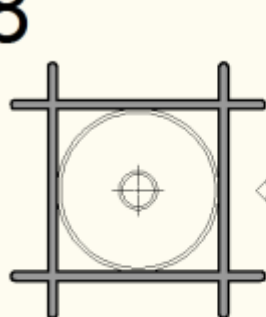
Nas zonas B e D foi usado sabão na água de amassadura.

Surgiram algumas dificuldades na realização dos furos para os ensaios de arrancamento, tendo em atenção que o reboco se destacava facilmente quando a broca chegava ao suporte.

FICHA DE ENSAIO N.º: 8[35]

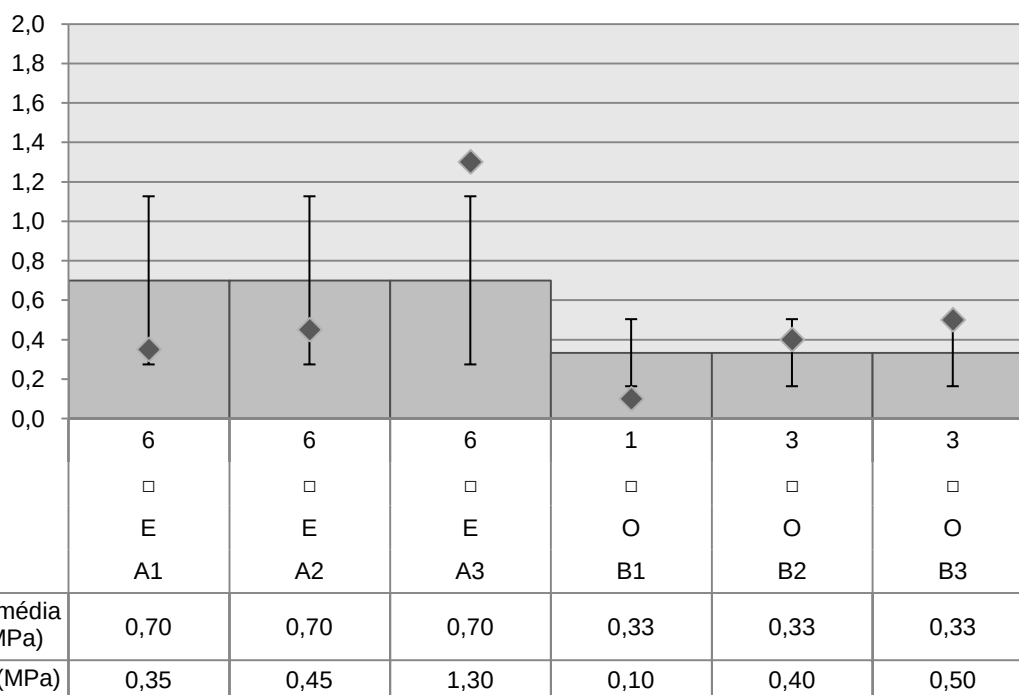
Data do ensaio: 195 **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Ladrilhos cerâmicos **Suporte:** Alvenaria de tijolo

8



- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Ladrilhos cerâmicos
- 3 - Int. Revest. | Cimento-cola
- 4 - Cimento-cola
- 5 - int. Cimento-cola | Reboco
- 6 - Reboco
- 7 - int. Reboco | Suporte
- 8 - Alvenaria de Tijolo

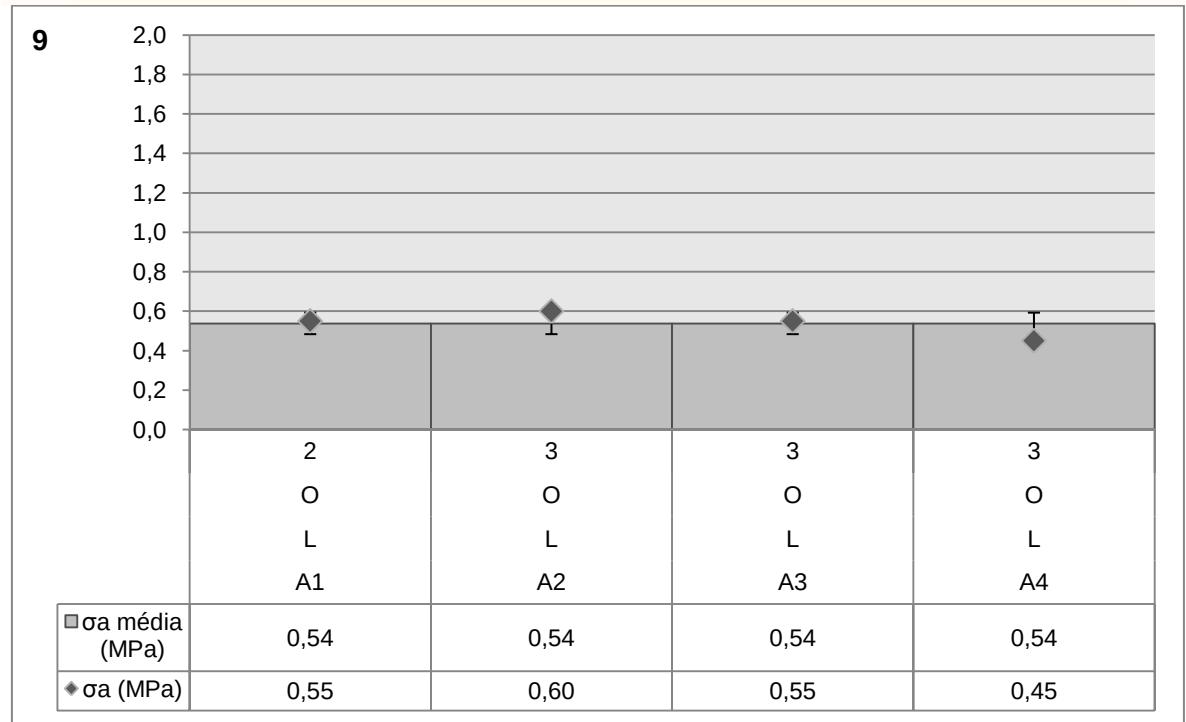
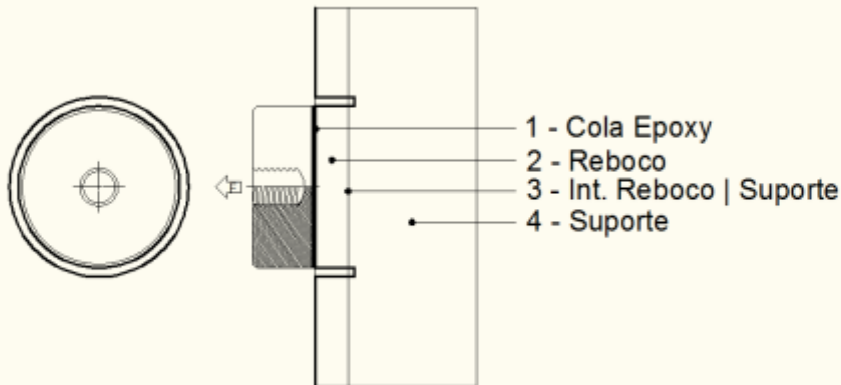
8

**Observações:**

FICHA DE ENSAIO N.º: 9[36]

Data do ensaio:	2002	Tipo de Ensaio:	Laboratorial
Elemento construtivo:	Parede	Idade:	Sem informação
Material de revestimento:	Reboco	Suporte:	Suporte

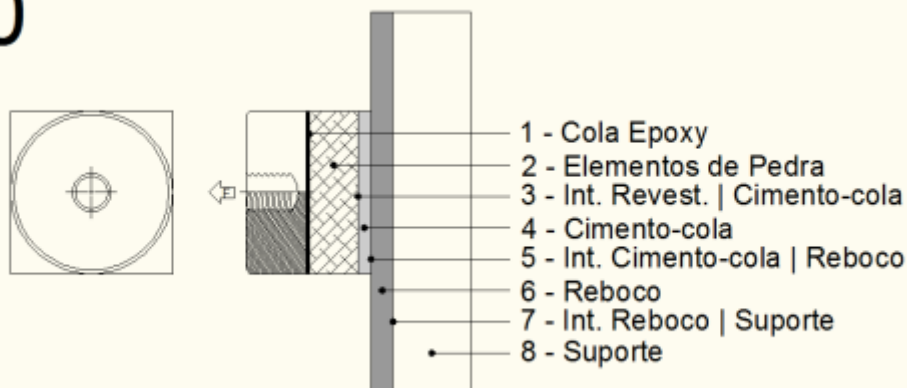
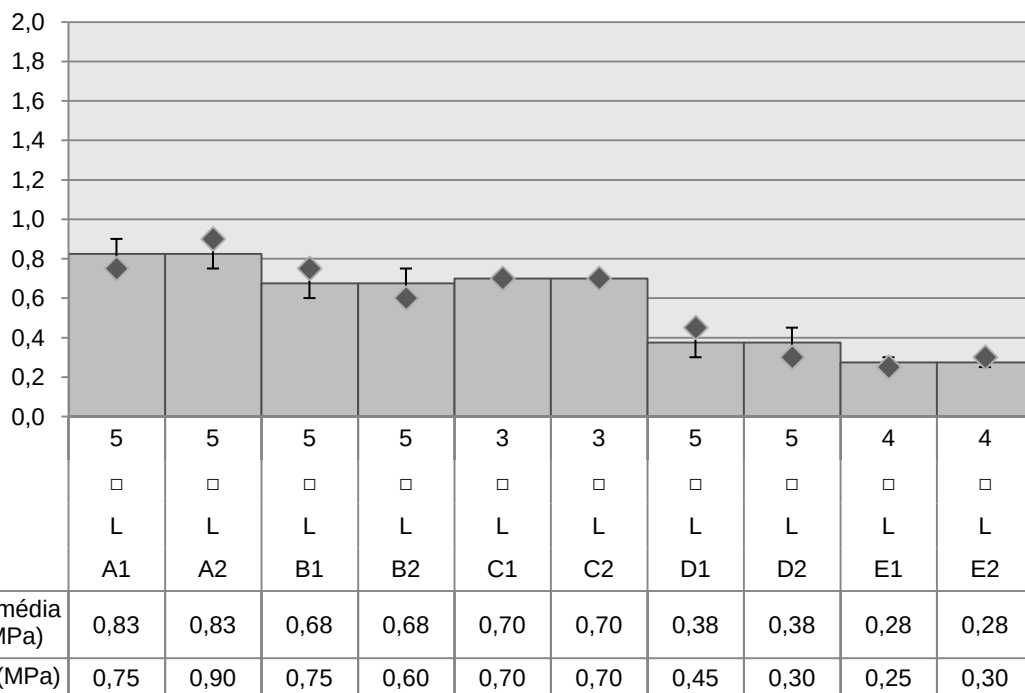
9



Observações:

FICHA DE ENSAIO N.º: 10[37]

Data do ensaio: 2002 **Tipo de Ensaio:** Laboratorial
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Elementos de Pedra **Suporte:** Suporte

10**10****Observações:**

Zona A – Aderência inicial

Zona B – Aderência inicial com tratamento do suporte

Zona C – Aderência após acção da água

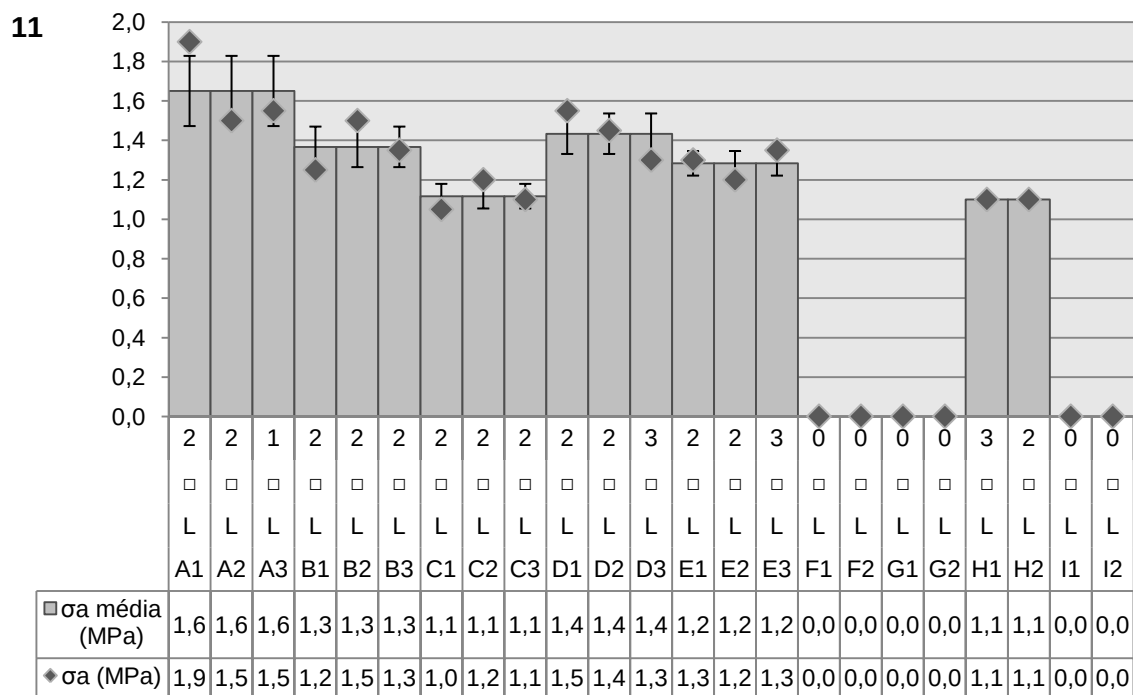
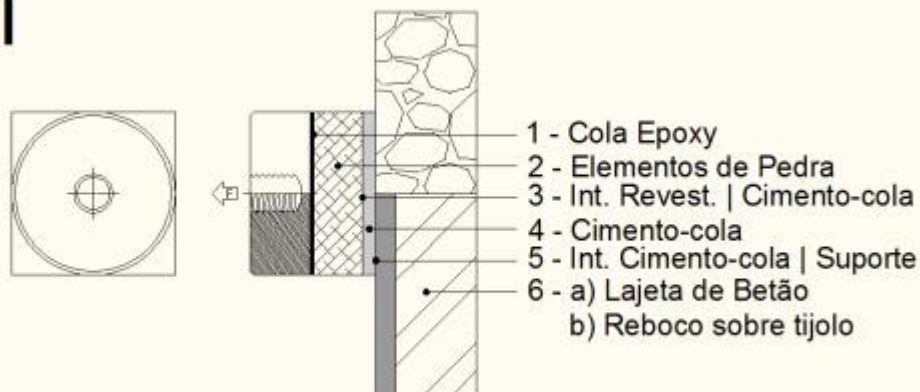
Zona D – Aderência após acção da água com tratamento do suporte

Zona E – Aderência após gelo/degelo

FICHA DE ENSAIO N.º: 11[38]

Data do ensaio: 2004 **Tipo de Ensaio:** Laboratorial
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Elementos de Pedra **Suporte:** Lajeta de betão/tijolo rebocado

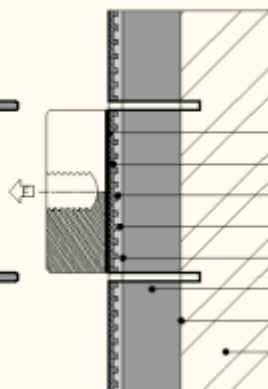
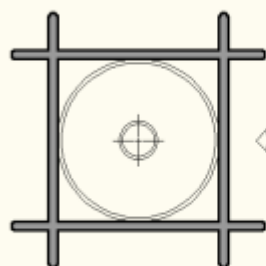
11

**Observações:****Suporte:** Lajeta de Betão**Suporte:** Tijolo Rebocado**A:** Envelhecimento acelerado 14 ciclos**F:** Aderência inicial**B:** Envelhecimento acelerado 56 ciclos**G:** Aderência após imersão em água**C:** Envelhecimento acelerado 70 ciclos**H:** Aderência após aquecimento**D:** Envelhecimento acelerado 12 ciclos**I:** Aderência após ciclos de gelo/degelo**E:** Envelhecimento acelerado 2 ciclos

FICHA DE ENSAIO N.º: 12[39]

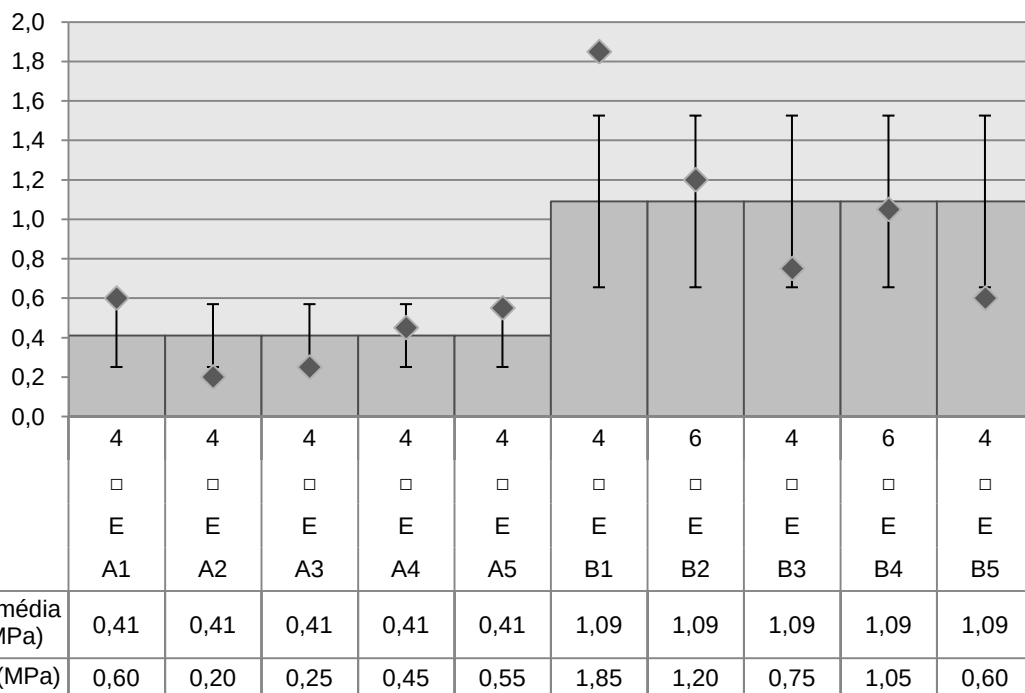
Data do ensaio: 2005 () Tipo de Ensaio: *in-situ*
 Elemento construtivo: Parede Idade: < 8 anos
 Material de revestimento: Ladrilhos cerâmicos Suporte: Alvenaria de tijolo

12



- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Ladrilhos cerâmicos
- 3 - Int. Revest. | Cimento-cola
- 4 - Cimento-cola
- 5 - int. Cimento-cola | Reboco
- 6 - Reboco
- 7 - int. Reboco | Suporte
- 8 - Alvenaria de Tijolo

12

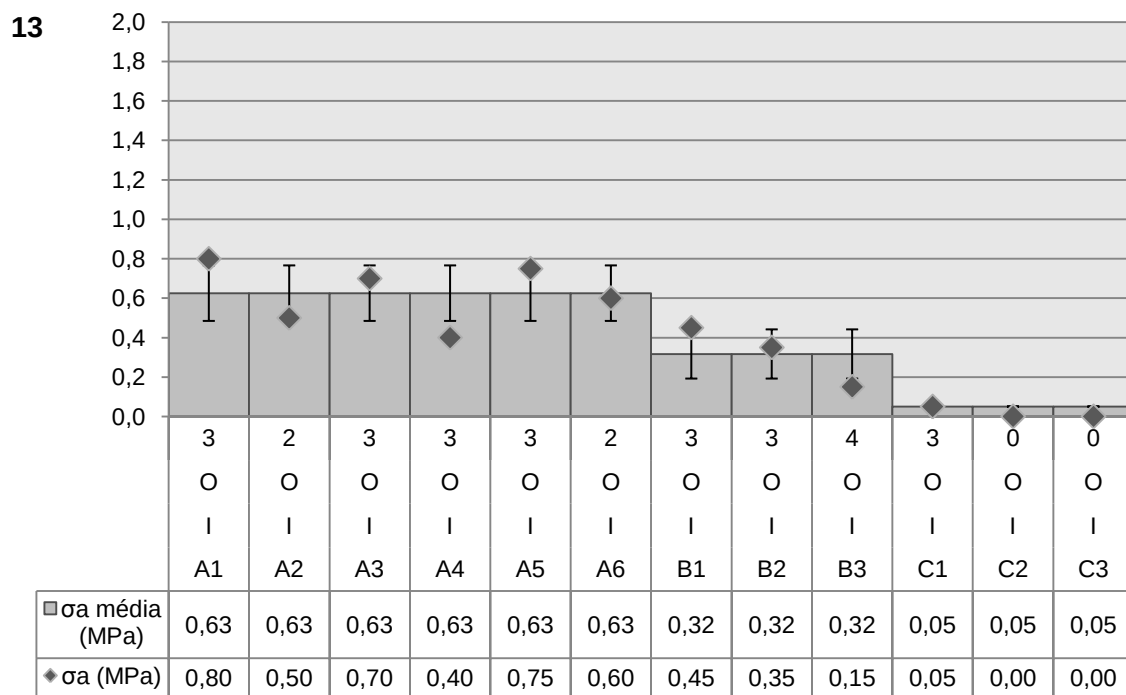
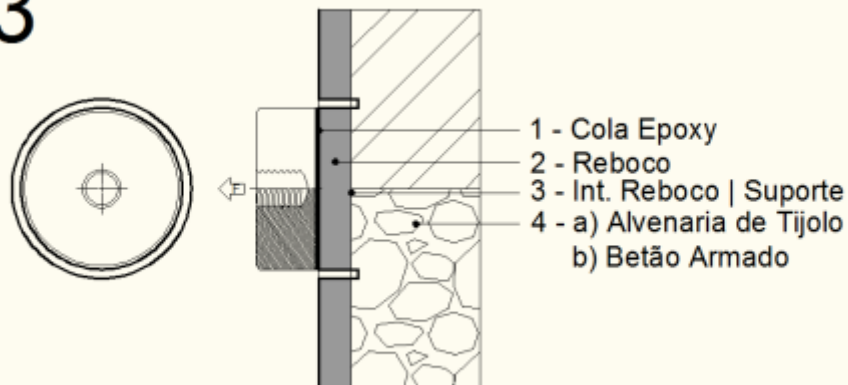
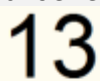
**Observações:**

Zona A – Zona da fachada Nascente do edifício com o revestimento cerâmico aderente inicialmente aplicado – Revestimento Antigo;

Zona N – Zona da fachada Nascente do edifício com revestimento aplicado numa das intervenções de reparação – Revestimento Novo.

FICHA DE ENSAIO N.º: 13[40]

Data do ensaio:	2005	()	Tipo de Ensaio:	<i>in-situ</i>
Elemento construtivo:	Parede interior		Idade:	Sem informação
Material de revestimento:	Reboco		Suporte:	Alvenaria de Tijolo Betão Armado

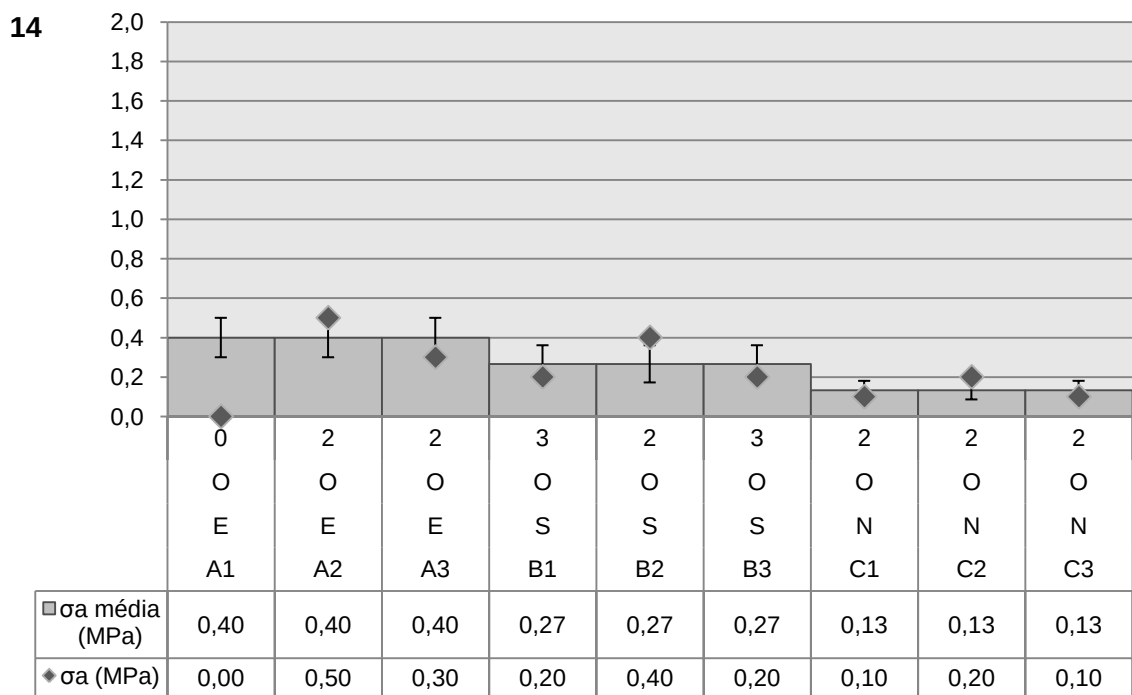
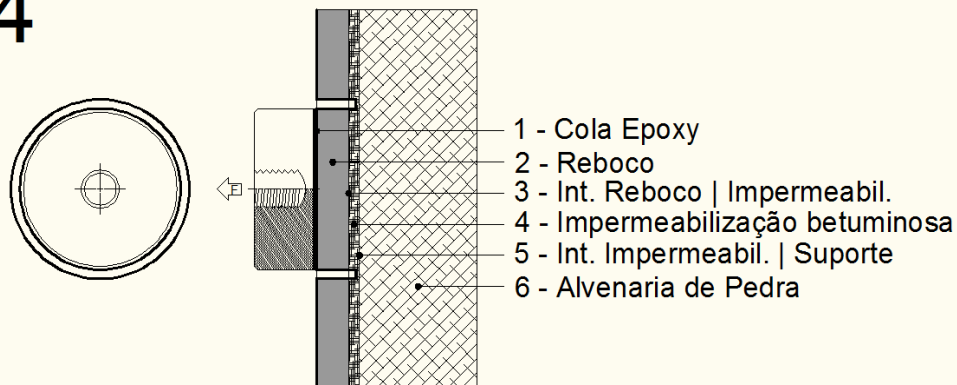
**Observações:**

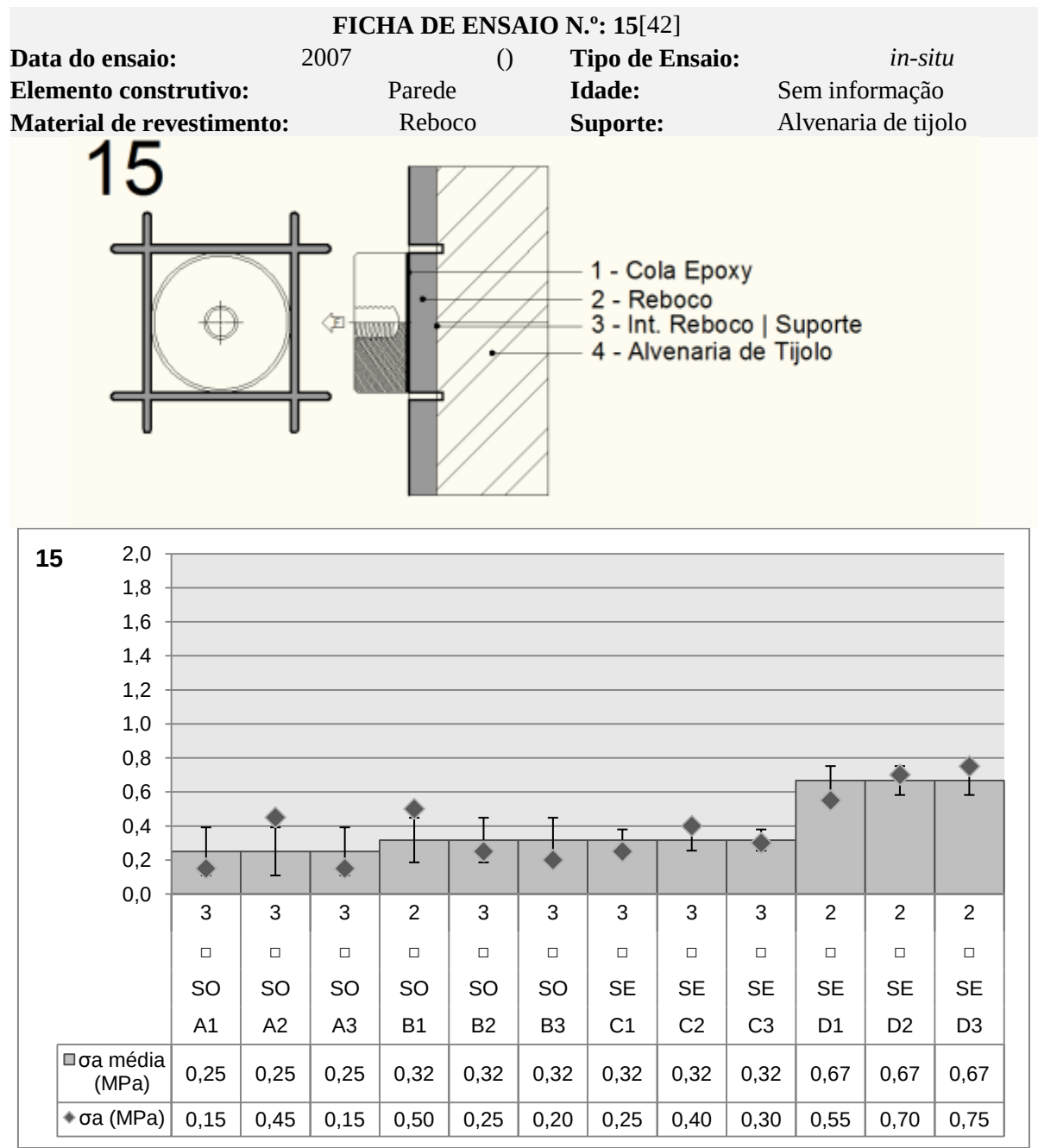
Zona A – Suporte em alvenaria de tijolo

Zona B – Suporte em Betão armado

FICHA DE ENSAIO N.º: 14[41]

Data do ensaio: 2006 () **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Reboco **Suporte:** Alvenaria de pedra

14

Observações:

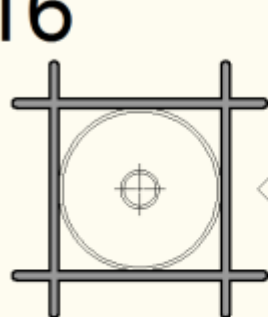


Observações:
Nas zonas B e D o pré-corte foi efectuado apenas até cerca de 35mm de profundidade no reboco.

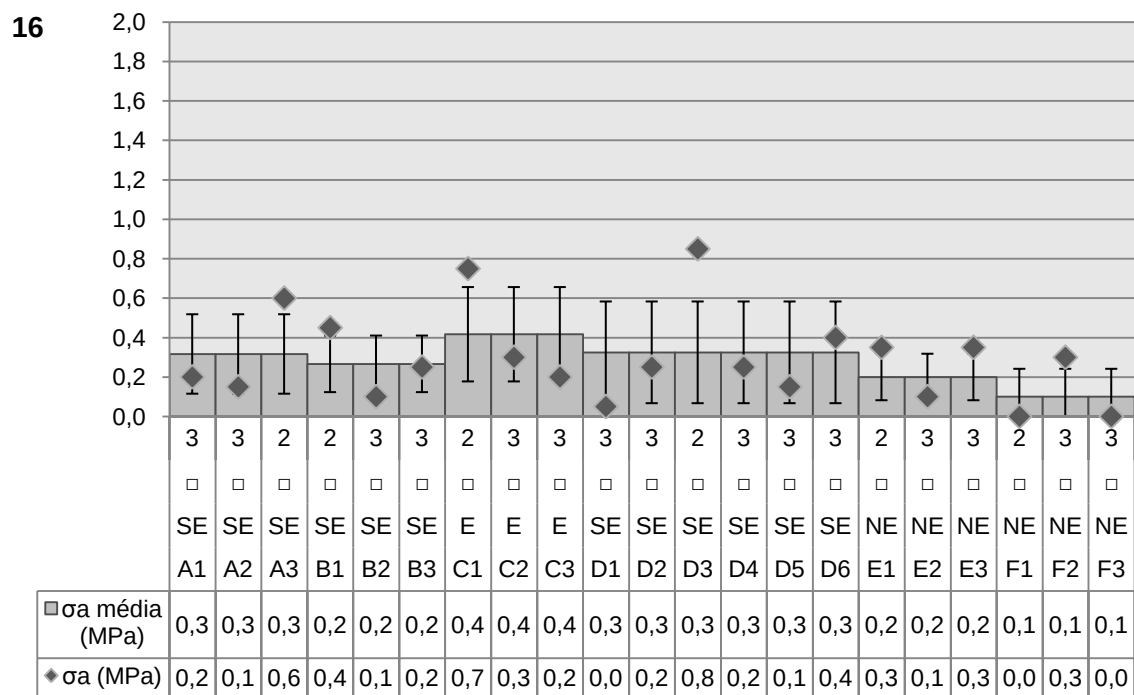
FICHA DE ENSAIO N.º: 16[43]

Data do ensaio: 2007 () Tipo de Ensaio: *in-situ*
 Elemento construtivo: Parede Idade: Sem informação
 Material de revestimento: Reboco Suporte: Alvenaria de tijolo

16



- 1 - Cola Epoxy
 2 - Reboco
 3 - Int. Reboco | Suporte
 4 - Alvenaria de Tijolo

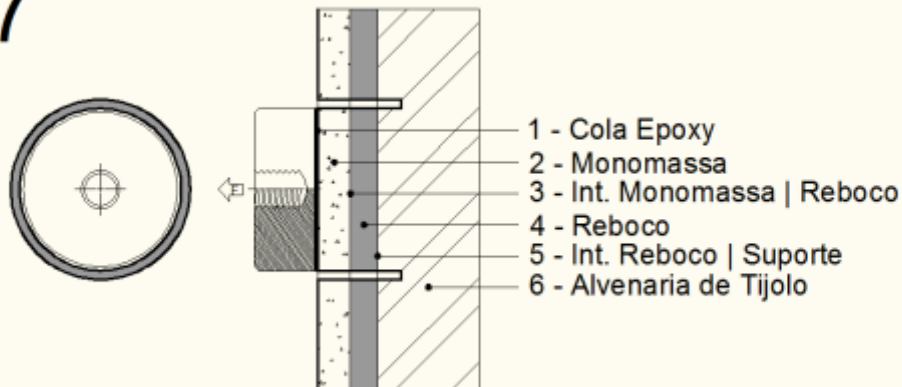
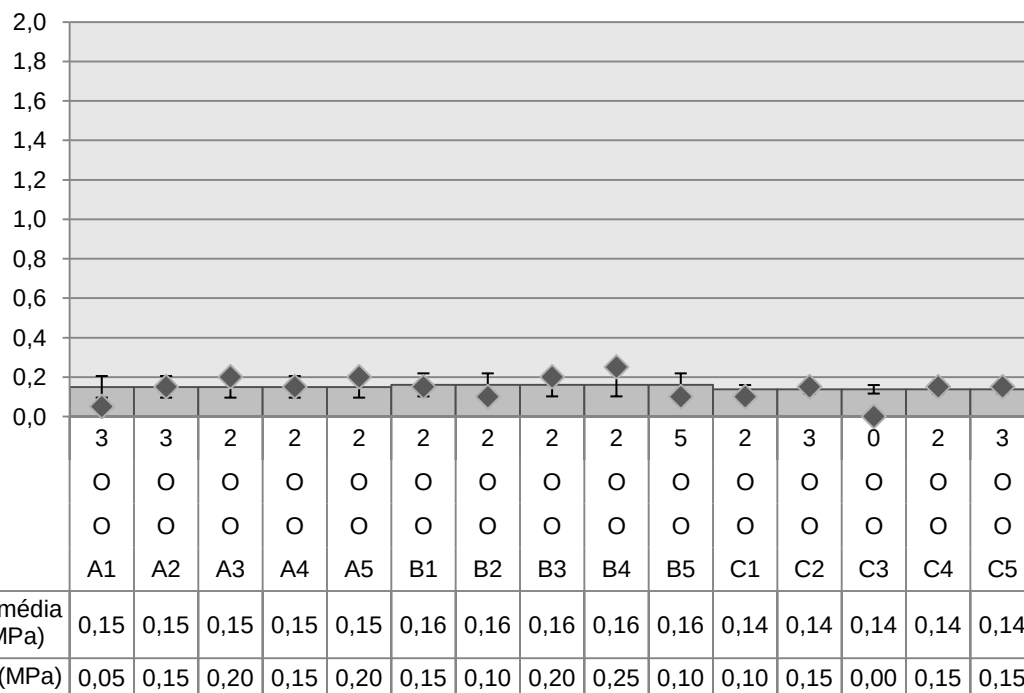
**Observações:**

O ensaio D4 ocorreu numa zona em que foi aplicada armadura de fibra de vidro.

O ensaio D6 ocorreu numa zona em que havia resíduos de mástique.

FICHA DE ENSAIO N.º: 17[44]

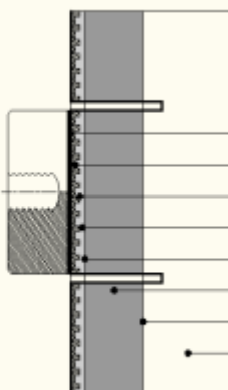
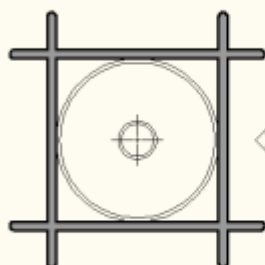
Data do ensaio: 2008 () **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Monomassa **Suporte:** Alvenaria de tijolo

17

17

Observações:

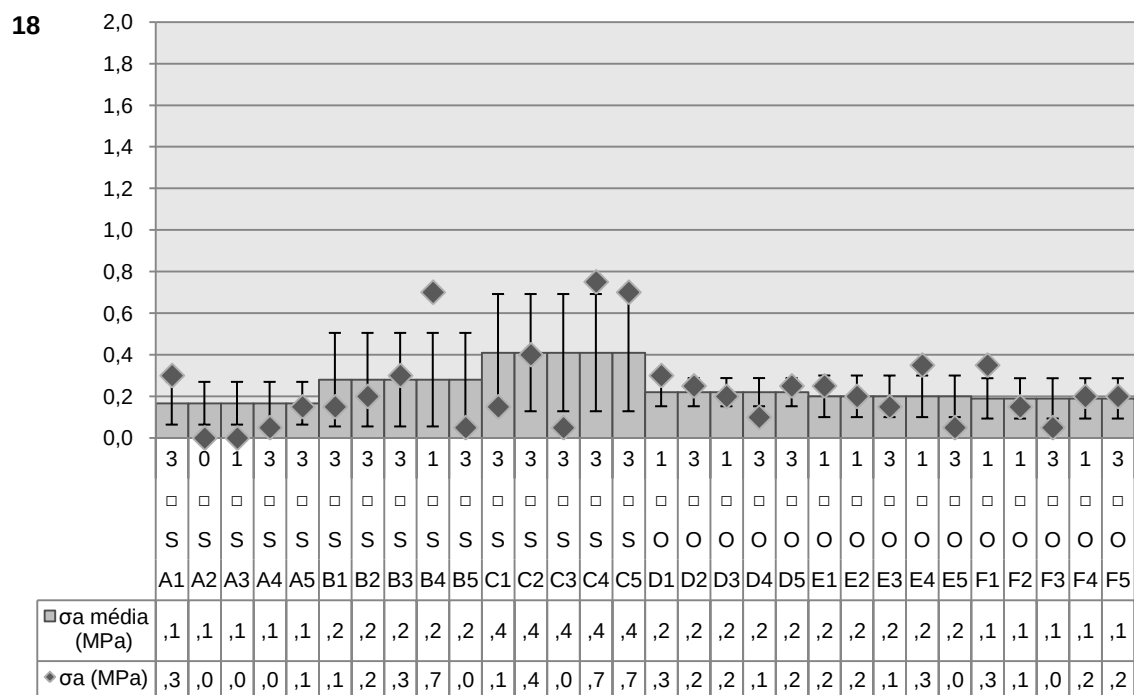
FICHA DE ENSAIO N.º: 18[45]

Data do ensaio: 2008 () Tipo de Ensaio: *in-situ*
 Elemento construtivo: Parede Idade: Sem informação
 Material de revestimento: Ladrilhos cerâmicos Suporte: Sem informação

18



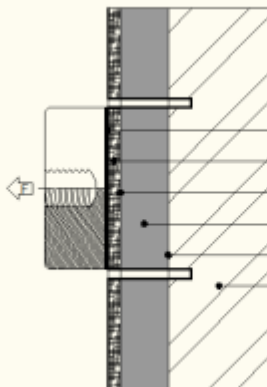
- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Ladrilhos cerâmicos
- 3 - Int. Revest. | Cimento-cola
- 4 - Cimento-cola
- 5 - int. Cimento-cola | Reboco
- 6 - Reboco
- 7 - int. Reboco | Suporte
- 8 - Suporte



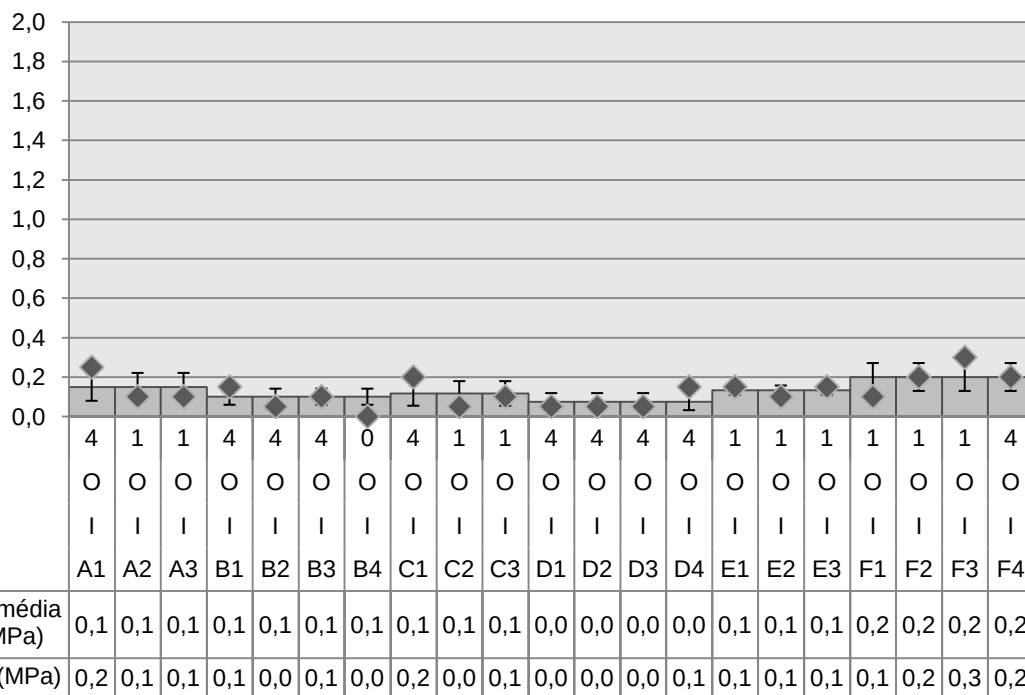
Observações:

FICHA DE ENSAIO N.º: 19[46]

Data do ensaio: 2008 () **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede interior de reservatório **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: **Suporte:** Alvenaria de tijolo

19


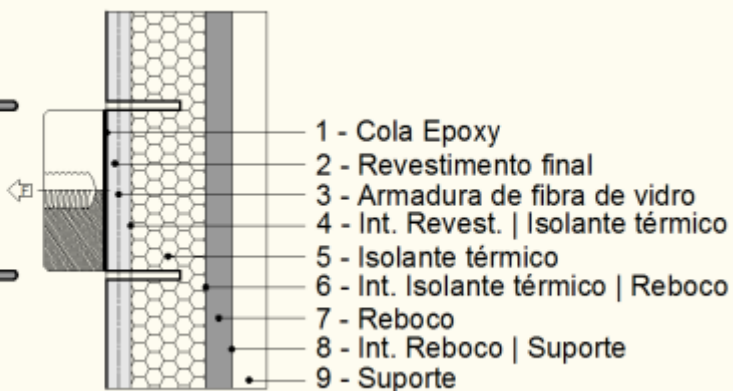
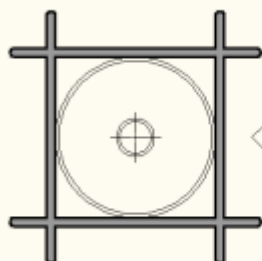
- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Revest. Impermeabilizante
- 3 - Int. Revestimento | Reboco
- 4 - Reboco
- 5 - Int. Reboco | Suporte
- 6 - Alvenaria de Tijolo

19

Observações:

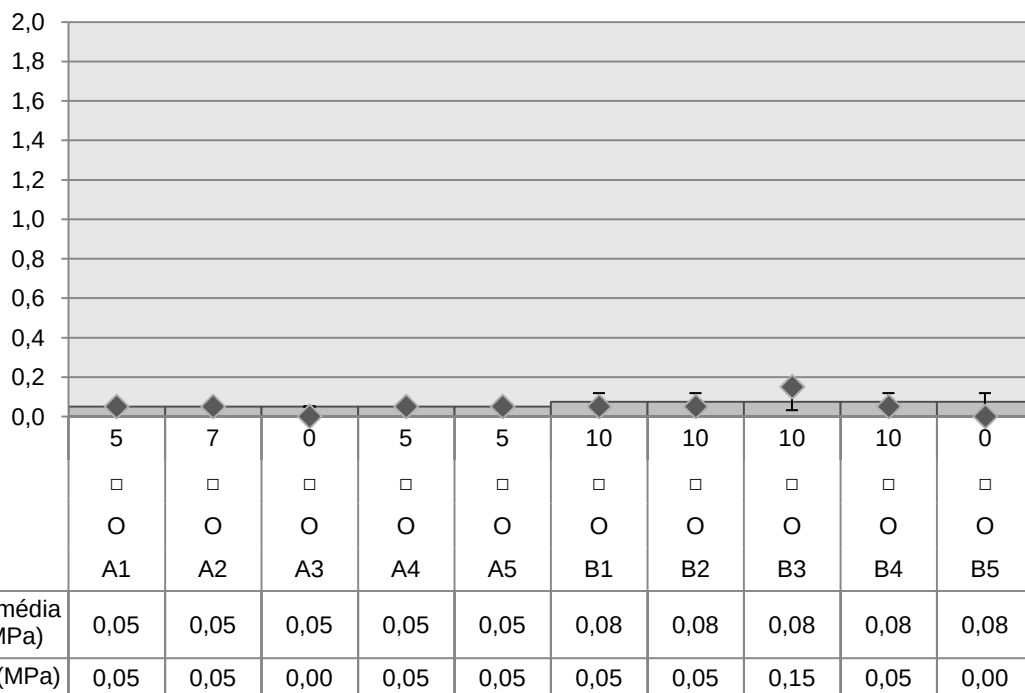
FICHA DE ENSAIO N.º: 20[47]

Data do ensaio: 2008 () Tipo de Ensaio: *in-situ*
 Elemento construtivo: Parede Idade: Sem informação
 Material de revestimento: ETICS Suporte: Alvenaria de Tijolo

20



20



Observações:

FICHA DE ENSAIO N.º: 21[48]

Data do ensaio: 2008

()

Tipo de Ensaio:

in-situ

Elemento construtivo:

Parede

Idade:

Sem informação

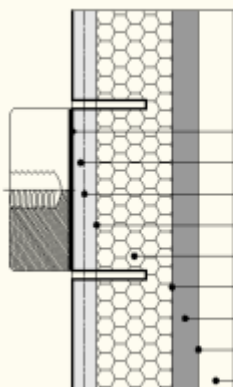
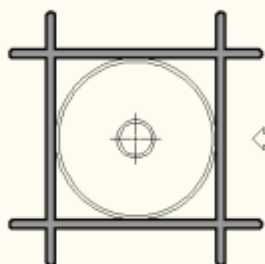
Material de revestimento:

ETICS

Suporte:

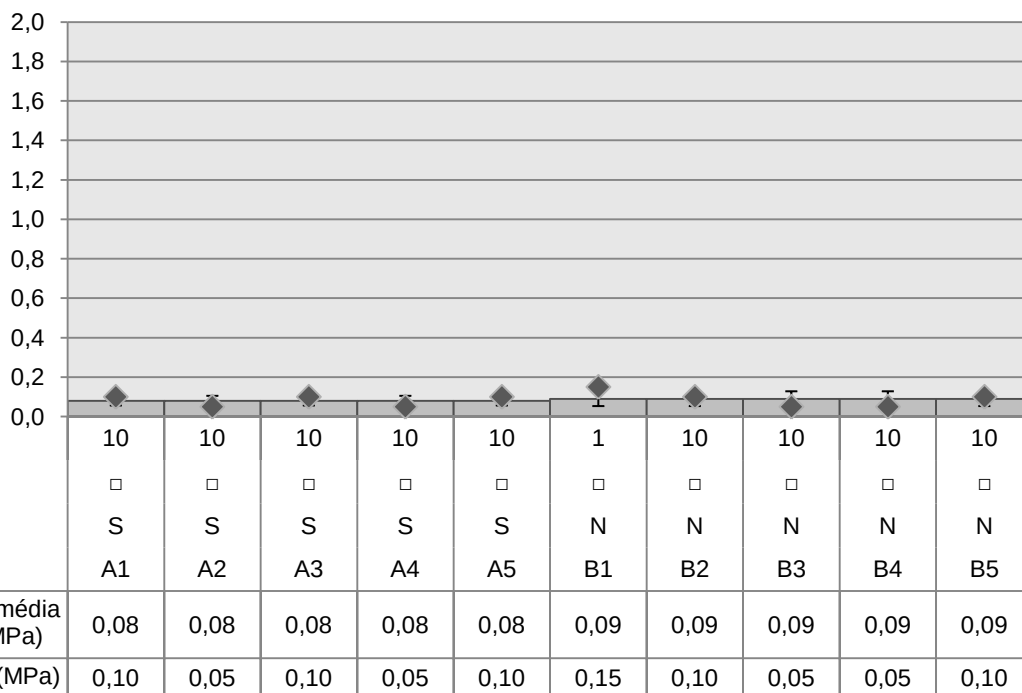
Alvenaria de tijolo

21



- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Revestimento final
- 3 - Armadura de fibra de vidro
- 4 - Int. Revest. | Isolante térmico
- 5 - Isolante térmico
- 6 - Int. Isolante térmico | Reboco
- 7 - Reboco
- 8 - Int. Reboco | Suporte
- 9 - Suporte

21

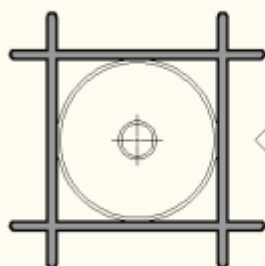


Observações:

FICHA DE ENSAIO N.º: 22[49]

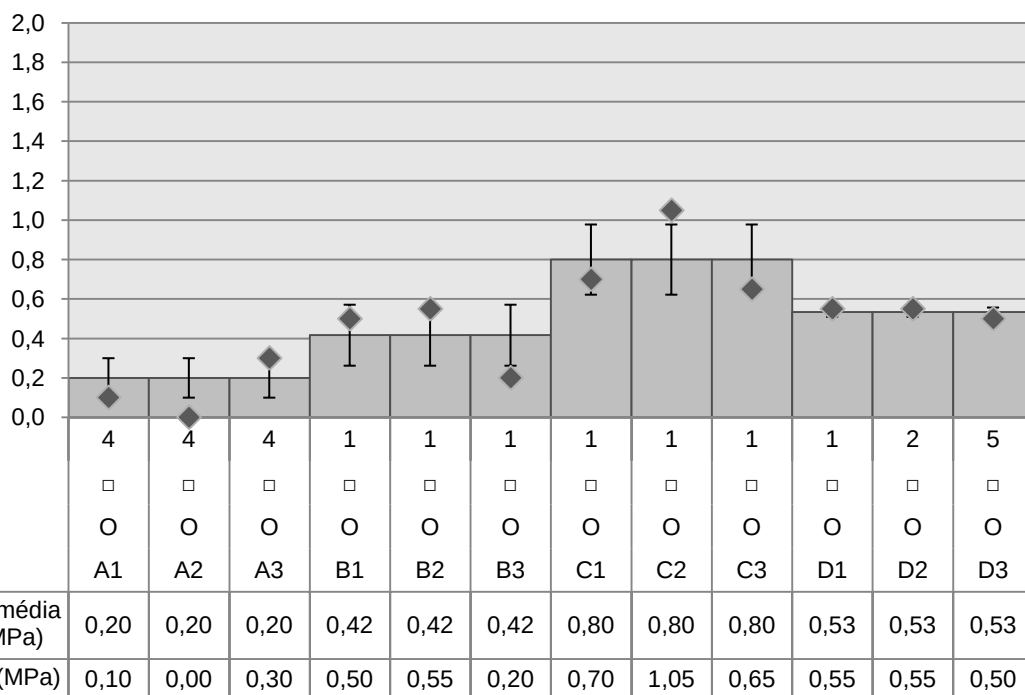
Data do ensaio: 2008 () **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:**
Material de revestimento: Ladrilhos cerâmicos / Reboco **Suporte:** Painéis VIROC/ Sem informação

22



- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Ladrilhos cerâmicos
- 3 - Int. Revest. | Cimento-cola
- 4 - Cimento-cola
- 5 - int. Cimento-cola | Reboco
- 6 - Reboco
- 7 - int. Reboco | Suporte
- 8 - Suporte

22

**Observações:**

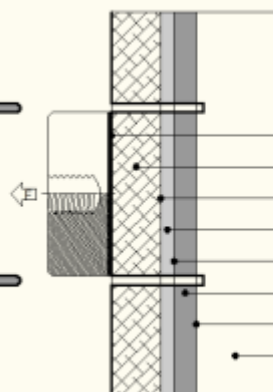
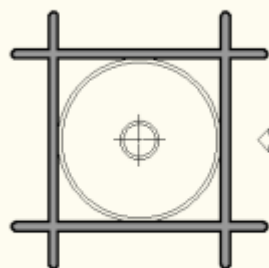
Na sondagem efectuada na fachada na zona analisada, verificou-se que a estrutura metálica leve de apoio dos painéis viroc está soldada a uma estrutura de aço. Essa estrutura de aço, nessa zona da fachada, corresponde ao previsto no projecto de licenciamento. Tal como na zona da fachada Poente analisada, alguns painéis viroc estão ligados apenas a perfis horizontais.

Quer na fachada Sul, quer na fachada Poente, foi possível observar a coincidência das fissuras verticais dos ladrilhos cerâmicos com as juntas entre painéis viroc

FICHA DE ENSAIO N.º: 23[50]

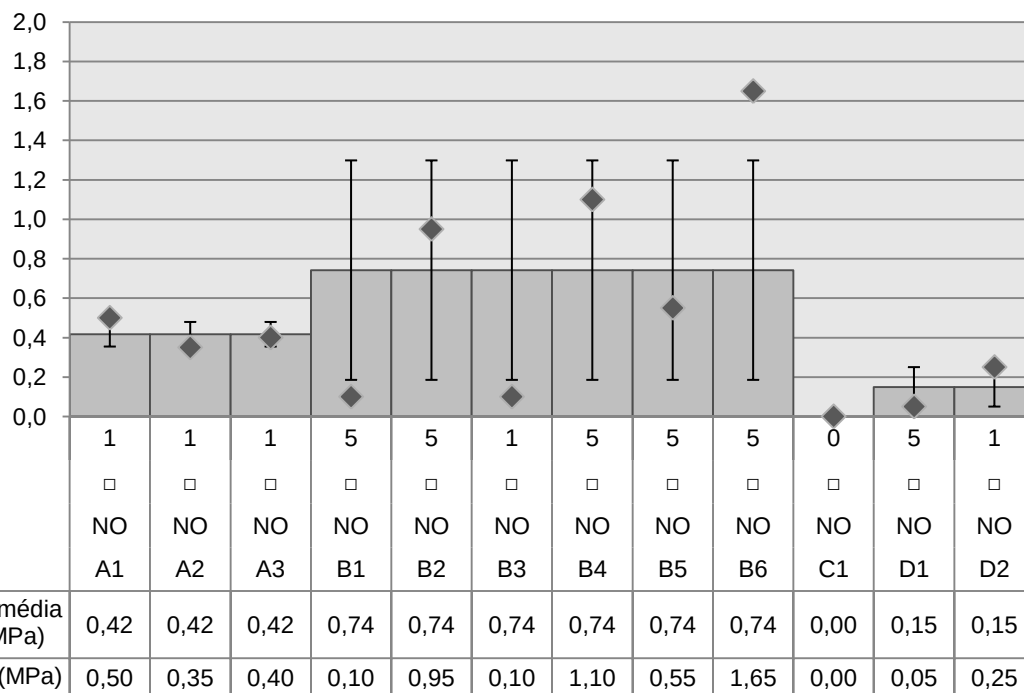
Data do ensaio: 2008 (sem indo.) **Tipo de Ensaio:** *in-situ*
Elemento construtivo: Parede **Idade:** Sem informação
Material de revestimento: Elementos de pedra **Suporte:** Sem informação

23



- 1 - Cola Epoxy
- 2 - Elementos de Pedra
- 3 - Int. Revest. | Cimento-cola
- 4 - Cimento-cola
- 5 - Int. Cimento-cola | Reboco
- 6 - Reboco
- 7 - Int. Reboco | Suporte
- 8 - Suporte

23

**Observações:**

4

ANÁLISE DA AMOSTRA

4.1. ENQUADRAMENTO

No presente capítulo será estudada a variabilidade do ensaio de arrancamento por tracção na avaliação do comportamento de sistemas de revestimentos.

Na maioria dos relatórios técnicos os resultados são apresentados ao utilizador final como um valor x sem indicação da incerteza associada a esse resultado. A tendência actual é, no entanto, de apresentar o valor X como um resultado x associada a um factor, U , que reflecte a sua incerteza [21].

$$X = x \pm U \quad (4)$$

No presente capítulo pretende-se analisar a amostra recolhida, interpretando os resultados com o objectivo de compreender que factores condicionam a variabilidade dos resultados obtidos pelo ensaio de arrancamento por tracção. A análise dos valores obtidos, quer ao nível da tensão de aderência, quer ao nível da sua variabilidade poderá fornecer informação relevante na definição da adequabilidade do ensaio às varias condições em que é executado.

O indicador de fiabilidade adoptado neste estudo foi o desvio padrão – dp .

O desvio padrão é calculado a partir de uma amostra e mede o grau de dispersão dos resultados em torno da média. A fórmula (5) representa o cálculo efectuado, em que $\bar{x}$ o valor médio da amostra e n a sua dimensão.

$$dp = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (5)$$

4.2. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TENSÃO DE ADERÊNCIA

4.2.1. CIMENTOS-COLA

Nos gráficos das Fig. 25 e Fig. 29 estão sintetizados os valores médios obtidos nos ensaios sobre revestimentos descontínuos aderentes e sobre paramentos rebocados, respectivamente. Nestes mesmos gráficos estão definidas duas zonas, que representam a gama de valores aceitável e a gama de valores considerados insuficientes, de acordo com a literatura consultada e anteriormente apresentada.

Os valores médios da resistência à tracção são os elementos de comparação com os valores de referência definidos nos documentos técnicos, no entanto Flores-Colen [11] refere que estes valores nem

sempre são representativos do comportamento global do sistema de revestimento pelo que a sua interpretação é complexa.

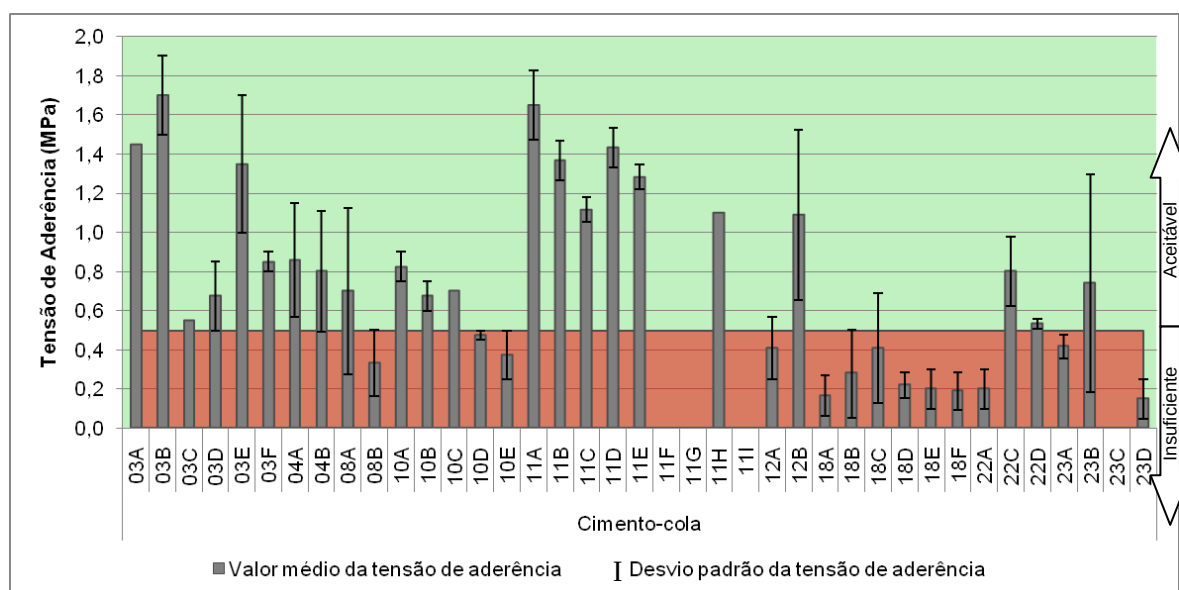


Fig. 25 – Síntese dos resultados obtidos para revestimentos descontínuos aderentes

No gráfico da Fig. 25 vemos que em grande parte dos ensaios realizados (21 em 39), os resultados obtidos foram satisfatórios, tendo-se obtido um valor médio da tensão de aderência superior ao limite de 0,5 MPa [5] definido na norma que regula as características de cimentos-cola.

Em média o resultado obtido ronda os 0,70 MPa com um coeficiente de variação, CV (quociente entre o desvio padrão e a média) de 70 %.

Podemos ainda verificar que, apesar da incerteza associada aos resultados obtidos ser relativamente grande, não há na generalidade dos casos interferência na apreciação global do ensaio. Note-se que o intervalo definido pelo desvio padrão em torno da média (régua) não corta na generalidade dos casos a linha definida pelo valor do parâmetro de referência.

O caso de estudo 12B é disso exemplo, ver *FICHA DE ENSAIO N.º: 12*. Neste exemplo todas as determinações tiveram um resultado superior a 0,5 MPa, variando entre 0,6 e 1,85 MPa. Este caso apresenta um coeficiente de variação de 40 %. É comum serem reportados valores de coeficiente de variação superiores a 30 % [23] nos resultados do ensaio de arrancamento por tracção, o que levanta algumas questões acerca da sua fiabilidade.

Neste caso de estudo todas as determinações revelaram uma boa aderência do sistema. Os resultados obtidos fariam prever um bom comportamento, não obstante observam-se destacamentos de áreas significativas do revestimento um pouco por todo o edifício. Constatou-se portanto que a área escolhida para o ensaio não era representativa do comportamento de determinadas zonas da fachada.



Fig. 26 – Destacamento de elementos cerâmicos do revestimento de fachada [39]

No caso 23B a variabilidade de resultados identificada impõe reservas na análise do valor médio do ensaio. Os resultados variaram entre 0,1 e 1,65 MPa. Não havendo na legislação relativa a cimentos cola [16] [5] a definição de valores máximos da variabilidade da tensão, ou mínimos absolutos nas determinações, o valor médio obtido poderia ser considerado aceitável. Os valores mínimos registados devem no entanto ser analisados.

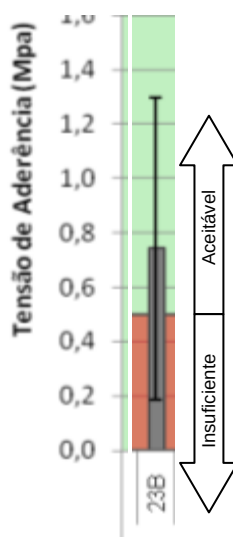


Fig. 27 – Excerto da Fig. 25 referente ao caso de estudo 23B

Nos casos 11F, 11G, 11I e 23C não foi possível obter nenhum resultado válido. Os três primeiros exemplos fazem parte de um mesmo boletim de ensaio laboratorial da aderência de um cimento-cola. O provete foi colado sobre um tijolo rebocado tendo o sistema sido submetido a vários tipos de envelhecimento tal como especificado em [16]. Verificou-se o destacamento do reboco durante o processo de envelhecimento não tendo sido possível realizar o ensaio.

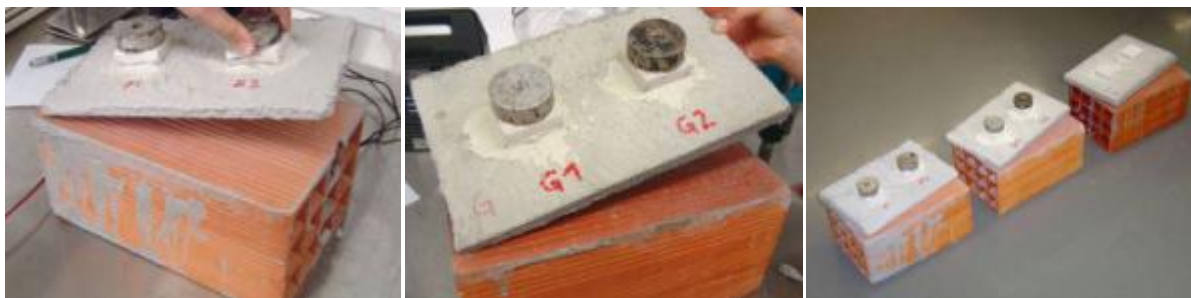


Fig. 28 – Provete em que não foi possível realizar o ensaio

O caso 23C, em que também não foi possível obter qualquer valor válido, representa um paramento em que apenas foi possível obter um provete, tendo-se este soltado durante a acoplagem do equipamento.

4.2.2. REBOCOS

Nos ensaios efectuados a paramentos rebocados, Fig. 29, os resultados obtidos são genericamente inferiores aos dos revestimentos descontínuos aderentes, o que vai de encontro ao esperado tendo em conta as características de ambos os sistemas.

Os valores registados são no entanto bastante baixos tendo em conta o valor de referência de 0,3 MPa, proveniente da legislação francesa citada por Veiga [3]. Existe um valor mínimo de 0,2 MPa que deverá ser respeitado por todas as determinações ficando assim de certa forma limitada a variabilidade dos resultados nestes casos. Valores mais baixos são admitidos desde que a rotura seja coesiva na camada de reboco pelo que se torna obrigatória a análise do tipo de rotura em conjugação com o valor da tensão.

Os resultados obtidos em paramentos rebocados são menos dispersos que nos revestimentos descontínuos aderentes, observando-se uma maior concentração dos valores registados em torno do limite do valor de referência.

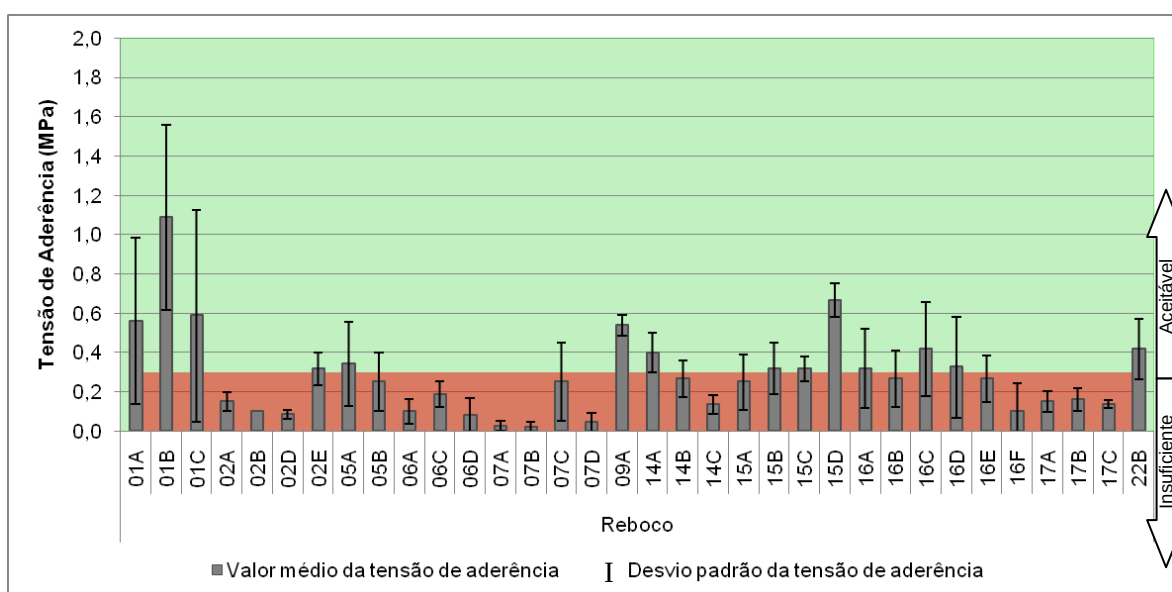


Fig. 29 – Síntese dos resultados obtidos para paramentos rebocados

Atendendo à necessidade de respeitar simultaneamente o critério citados, apenas os ensaios 1B, 2E, 9A, 14A, 15C, 15D e 22B poderiam ser considerados aceitáveis ao satisfazer ambos os critérios.

O valor mais elevado da tensão de aderência é registado no caso 1B, neste exemplo os resultados variam entre 0,3 e 1,5 MPa com apenas um valor menor que 1,1 MPa entre as quatro determinações efectuadas.

Em média o valor obtido para a tensão de aderência de paramentos rebocados é de 0,28 MPa (com um coeficiente de variação de 100 %) este valor revela uma tendência dos paramentos rebocados estudados em não satisfazer os requisitos mínimos exigidos.

4.2.3. OUTROS REVESTIMENTOS

Os casos de estudo em que foram analisados revestimentos do tipo ETICS correspondem a edifícios novos, ainda não habitados em que ocorreu a fissuração generalizada do revestimento. O valor médio da tensão de aderência situa-se nos 0,08 MPa, precisamente o valor mínimo requerido [18].

Já nos rebocos interiores, que foram separados do restante grupo de rebocos devido a diferença das suas características e solicitações a que estão sujeitos, verifica-se um valor médio da tensão de aderência próximo dos 0,25 MPa, abaixo portanto do requisito mínimo.

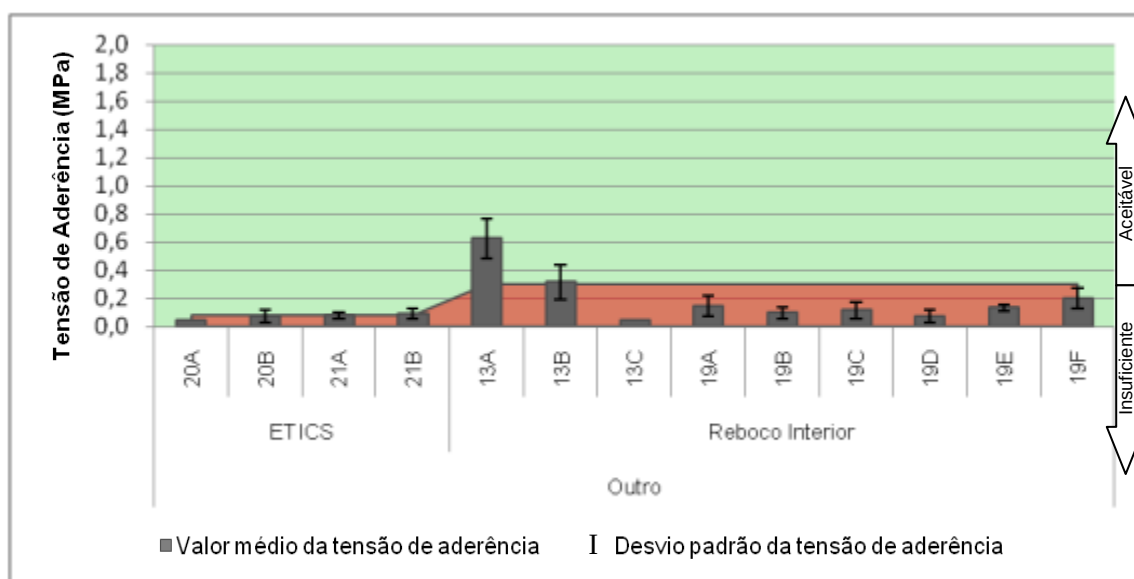


Fig. 30 – Síntese dos resultados obtidos para paramentos com revestimento ETICS e rebocos interiores

4.2.4. DEPENDÊNCIA FACE À EXPOSIÇÃO SOLAR

A orientação solar exerce alguma influência sobre a aderência, na medida em que as condições de envelhecimento natural dependem da intensidade dos agentes atmosféricos.

No gráfico da Fig. 31 representa a variação da tensão em função da orientação. Tanto em termos de valores médios, como através do valor máximo e do desvio padrão da amostra.

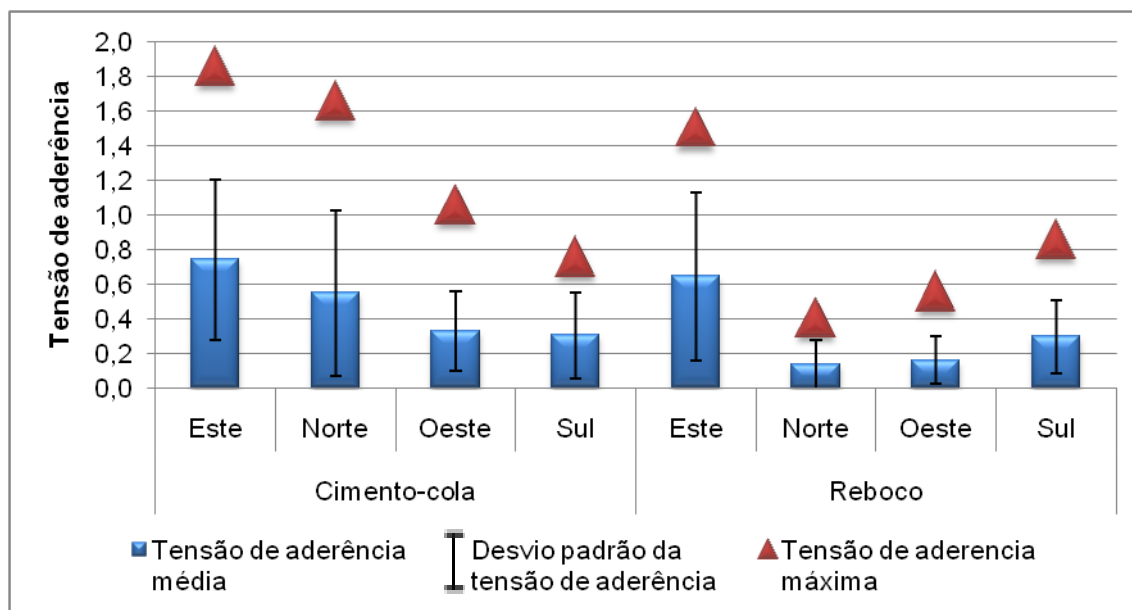


Fig. 31 – Variação da tensão de aderência em função da orientação e tipo de revestimento

Podemos verificar que nos paramentos voltados a *Este* o resultado obtido é superior aos resultados obtidos nas restantes orientações, sendo que estes se encontram muito próximos entre si em termos médios. Esta diferença registada é mais significativa no caso dos paramentos rebocados.

No que diz respeito ao valor máximo, a tendência é semelhante.

Procurou-se quantificar a relação entre a tensão em cada orientação. Para isso recorreu-se a ensaios em que haviam sido ensaiados paramentos com orientações distintas.

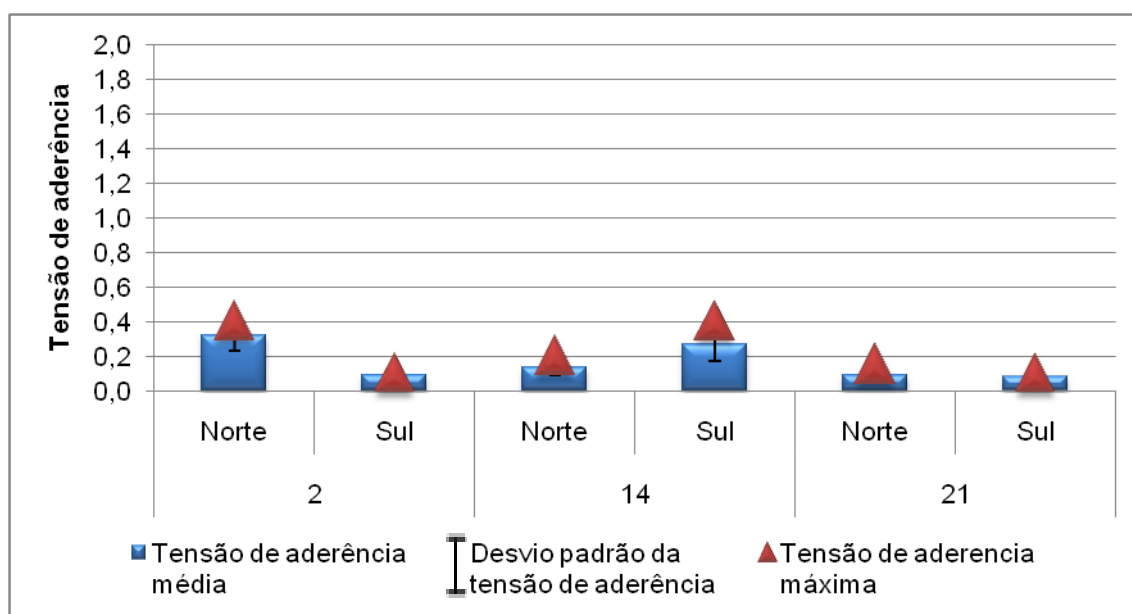
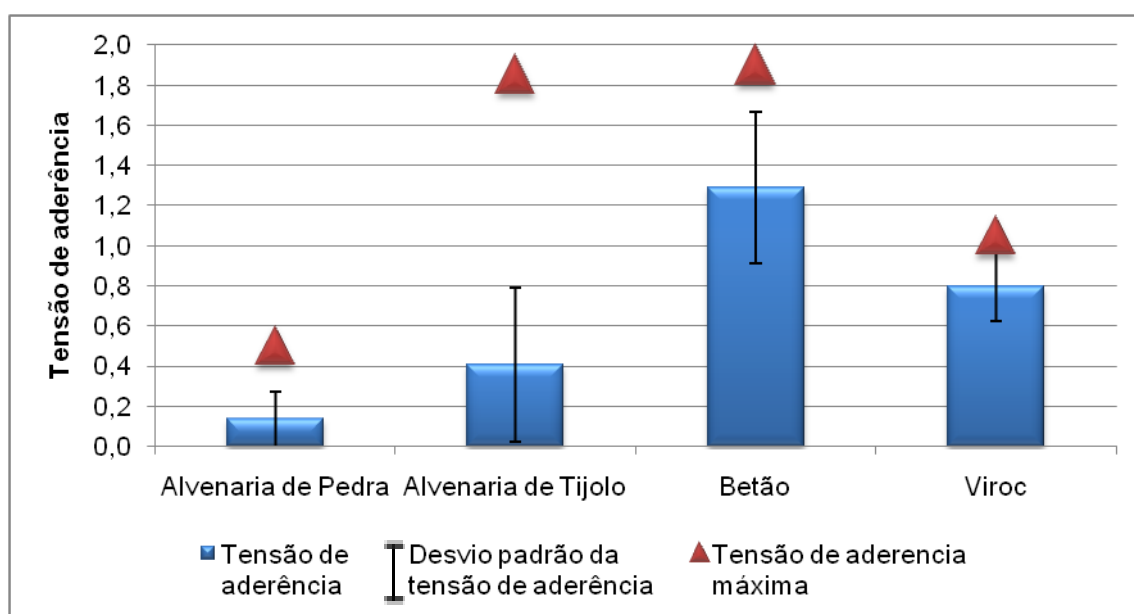


Fig. 32 Análise comparativa da tensão de aderência nos paramentos norte e sul das fichas de ensaio 2, 14 e 21

Nas fichas de ensaio 2, 14 e 21 houve uma coincidência da orientação dos paramentos estudados, pelo que se optou por analisar a relação entre a tensão de paramentos voltados a norte e paramentos voltados a sul. Os resultados obtidos não permitem identificar uma tendência de melhor comportamento numa ou outra orientação.

4.2.5. DEPENDÊNCIA FACE AO SUPORTE

A tensão de aderência é condicionada pelas características do material de suporte. De entre os tipos de suporte presentes na amostra em estudo verifica-se que o betão é aquele que conduz a valores mais elevados de aderência. Em contrapartida, os sistemas em que a alvenaria de pedra constitui a camada de suporte apresentam os valores mais baixos do conjunto.



Não foi possível estabelecer uma comparação directa entre valores da mesma ficha de ensaio uma vez que não foram registados, em nenhum dos casos de estudo, valores válidos em suportes diferentes.

4.3. PATOLOGIAS VS ENSAIO

De uma forma geral os ensaios analisados correspondem a situações em que foram detectadas anomalias, de maior ou menor extensão e gravidade, nos revestimentos dos edifícios. As situações mais frequentes correspondem à perda de aderência, com ou sem destacamento do revestimento em relação ao suporte. Estas situações são particularmente gravosas quer devido às questões de segurança que levantam, quer pela perda da capacidade de responder às exigências para as quais o revestimento foi concebido.

Outra das patologias que pode dar origem a este tipo de inspecção é a fissuração. Estes casos são menos frequentes uma vez que a sua gravidade e visibilidade são mais reduzidas.

Por vezes os ensaios são efectuados de forma a avaliar a adequabilidade de um sistema de revestimento, quer através de ensaios laboratoriais quer in-situ. Estas situações surgiram associadas a edifícios

com valor histórico-cultural ou a edifícios nos quais se pretende substituir uma solução actual que manifesta patologias.

No conjunto dos ensaios *in-situ* analisados apenas nove referem as patologias observadas, sendo que seis destas inspecções foram desencadeadas devido a perda de aderência do revestimento com destacamento. Nos restantes três ensaios o ensaio teve origem num problema de fissuração no revestimento.

Os casos de perda de aderência com destacamento do revestimento ocorreram em paramentos rebocados e em elementos revestidos com elementos colados com cimento-cola.

A ocorrência de fissuração observou-se em dois paramentos revestidos com o sistema ETICS [47] [48]. Ambos os edifícios manifestaram a anomalia ainda antes de serem ocupados pelo que se excluem as causas relacionadas com o envelhecimento ou a falta de manutenção.



Fig. 33 – (esquerda) Fissuras nas paredes laterais de corpos em balanço [47] e (direita) em zona corrente da parede do r/ chão da fachada Sul [48]

No terceiro caso de estudo em que se observou a ocorrência de fissuração [49] não se pode imputar essa manifestação patológica ao sistema de revestimento. Aquando de uma reparação recente toda a fachada do edifício, ao nível do primeiro piso, foi revestida com painéis viroc fixos ao paramento original através de uma estrutura metálica. Sobre estes painéis foram aplicados ladrilhos cerâmicos colados com cimento-cola. A inspecção visual revelou uma grande deformação dos painéis *viroc* o que impôs enormes movimentos relativos dos elementos cerâmicos, provocando a sua fissuração.

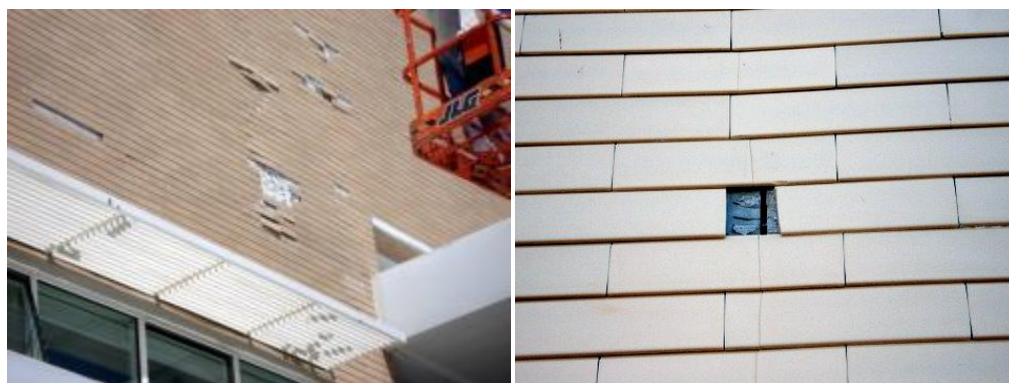


Fig. 34 – Fissuração, destacamento e queda de ladrilhos cerâmicos [49]

4.4. IMPORTÂNCIA DO TIPO DE ROTURA

Os relatórios de ensaio, para além do valor da tensão de aderência, devem incluir informação acerca do padrão de rotura ocorrido [15] [16].

O padrão de rotura é essencial para a compreensão dos fenómenos que estão associados à rotura

A análise do gráfico da Fig. 35 mostra uma grande ocorrência de roturas na interface de colagem das pastilhas metálicas nos ensaios realizados sobre revestimentos colados. Grande parte dos ensaios incluídos no grupo cimento-cola corresponde a ensaios sobre ladrilhos cerâmicos. Os ladrilhos cerâmicos apresentam geralmente duas faces com características bastante distintas. No tardo a superfície porosa e nervurada facilita a aderência entre o ladrilho e o cimento-cola, mas na face visível os ladrilhos apresentam uma estrutura muito compacta, por vezes até vitrificada de forma a impedir a penetração de água e outros agentes que promovem a degradação. O elevado número de roturas pela cola poderá estar relacionado com uma menor aderência à superfície exterior dos ladrilhos cerâmicos.

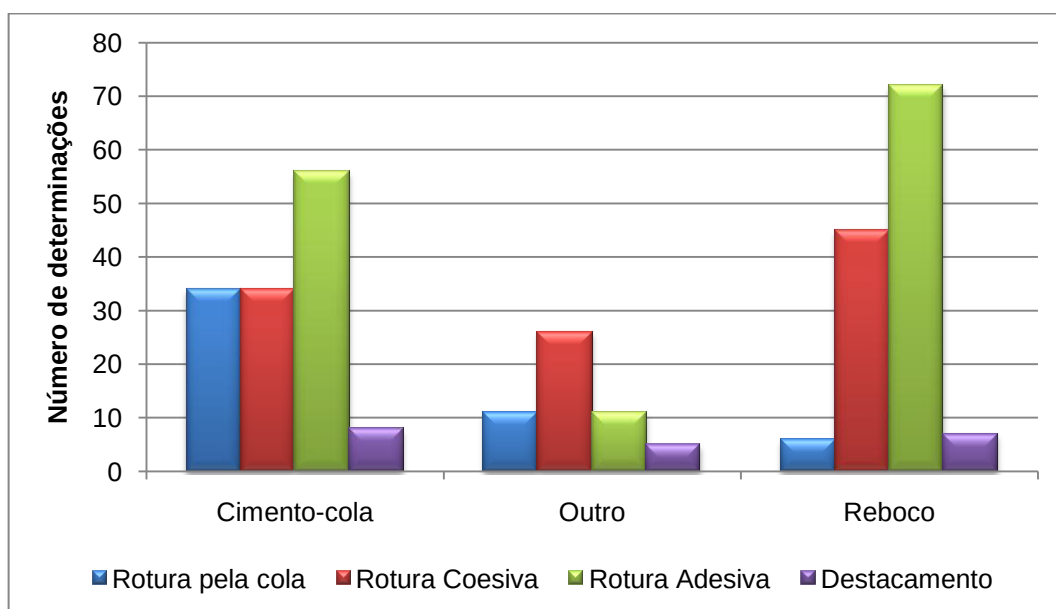
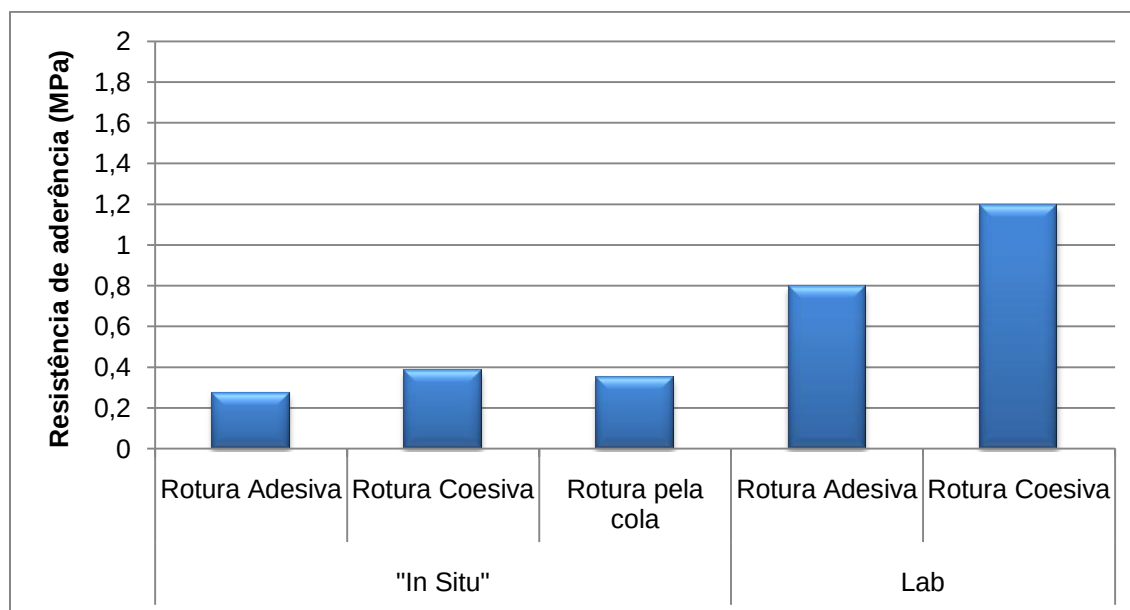


Fig. 35 – Número de ocorrências de cada tipo de rotura em função do tipo de suporte

No caso específico da rotura pela interface de colagem do equipamento experimental, é importante distinguir dois tipos de rotura. Se em algumas situações a aderência desta fixação é condicionada por dificuldades técnicas como elevada humidade relativa, ou tempo de cura insuficiente, outras situações há em que o bom comportamento do revestimento torna a cola a interface mais limitada. Os revestimentos colados são em geral caracterizados por resistências ao arrancamento superiores aquelas verificadas nos paramentos rebocados, pelo que é mais comum nestes sistemas a resistência do revestimento superar a resistência da cola.

Fig. 36 – Análise da tensão de rotura média por tipo de rotura em ensaios *in-situ* e em laboratório

Podemos observar no gráfico da Fig. 36 que nestas avaliações *in-situ* as roturas pela cola foram originadas por valores médios da tensão superiores aos da rotura adesiva, e muito próximos do valor médio da tensão para roturas coesivas. A análise dos valores individuais para cada ensaio permitiu constatar também que nas amostras em que ocorreu rotura pela cola *epoxy*, o valor da tensão era razoavelmente alto, sendo até superior à média dos restantes casos.

No gráfico da Fig. 37 podemos observar um exemplo de um ensaio em que ocorreu um grande número de roturas pela interface de colagem das pastilhas metálicas (interface 1).

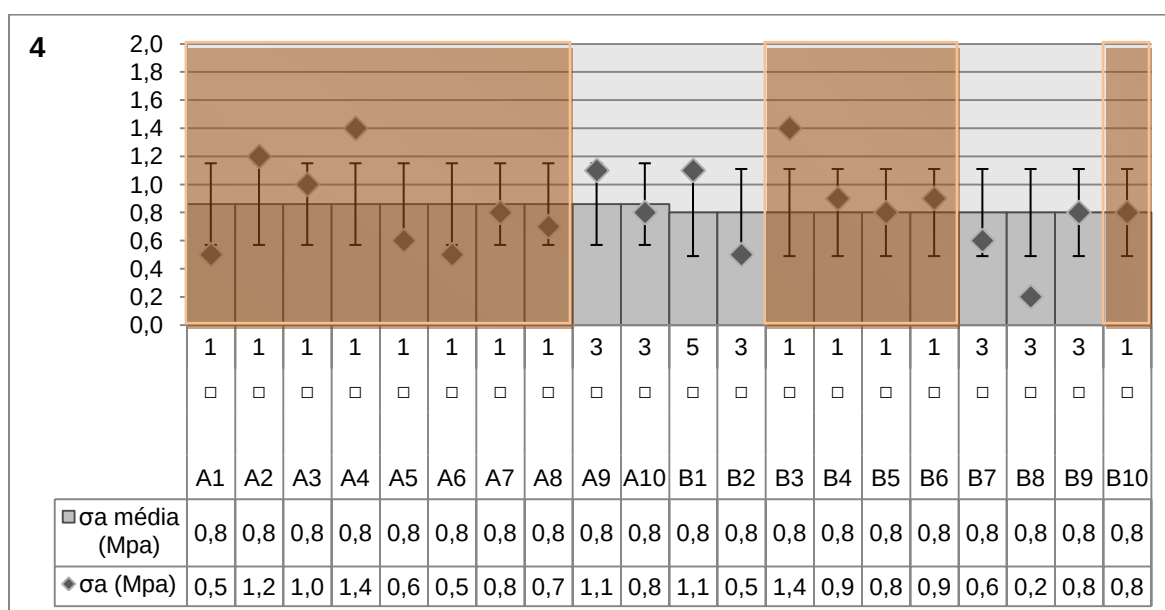


Fig. 37 – Exemplo de ensaio com grande número de roturas pela cola FICHA DE ENSAIO N.º: 4

A análise da dispersão de resultados associada a cada tipo de rotura revela que não existem diferenças significativas entre a qualidade dos resultados obtidos. Em termos médios podemos afirmar que os resultados obtidos em laboratório apresentam menor variabilidade do que os obtidos *in-situ*.

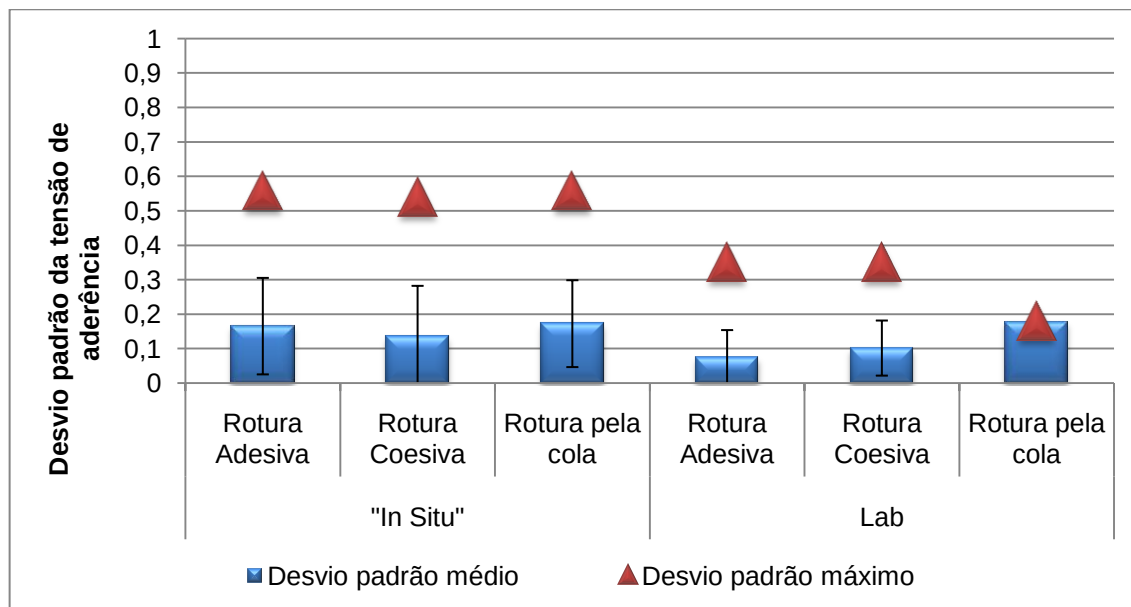


Fig. 38 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função do tipo de rotura

4.5. ANÁLISE DA DISPERSÃO DE RESULTADOS

A garantia de obtenção de resultados fiáveis e representativos das características do elemento em estudo é um factor determinante na escolha da metodologia de inspecção [51]. Uma simples inspecção visual fornece muita informação sobre a origem de uma patologia, no entanto a interpretação dessa informação, não sendo na maioria dos casos quantitativos, revela-se subjectiva e muito dependente da experiência dos peritos que a realizam [2]. Torna-se assim quase obrigatória a realização de ensaios complementares que quantifiquem parâmetros como a aderência e permitam uma avaliação mais objectiva.

Em primeiro lugar foi avaliado o número de ensaios rejeitados. Um ensaio é rejeitado sempre que a rotura ocorre na zona de fixação do equipamento experimental à superfície do revestimento ou quando o revestimento, durante a preparação do ensaio, atinge por algum motivo um grau de deterioração que impede a sua realização.

4.5.1. EFEITO DO PRÉ-CORTE NA VARIAÇÃO DOS RESULTADOS

O pré-corte é utilizado como forma de delimitar a área ensaiada, assegurando que o provete é submetido unicamente a tensões de tracção.

A técnica padronizada é a de efectuar uma incisão circular no entanto admite-se a utilização de pré-corte quadrangular em situações específicas.

A norma *ASTM D 4541-02* [17] defende a não utilização de pré-corte devido à sua interferência no parâmetro a medir.

O gráfico da Fig. 39 representa o número de amostras ensaiadas com recurso a cada uma das técnicas e o número de paramentos caracterizados com base nessas amostras.

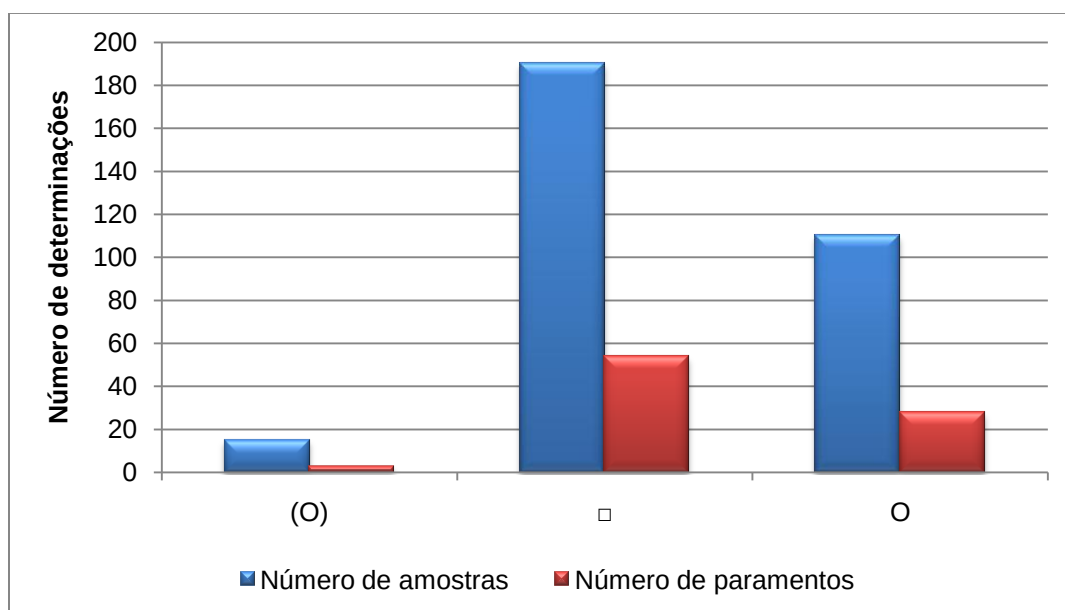


Fig. 39 – Análise dos tipos de pré-corte utilizados

Em três dos paramentos não foi possível prolongar o pré-corte circular por toda a espessura do revestimento porque se constatou que o sistema de revestimento não tinha capacidade para suportar tal acção. Estes casos estão representados pelo círculo entre parêntesis (O).

Observa-se que o pré-corte mais utilizado é o quadrangular. A utilização de uma rebarbadora é mais simples em relação à carotadora circular pois com a carotadora é difícil conseguir e manter a perpendicularidade necessária nos cortes. Nos ladrilhos cerâmicos o pré-corte quadrangular (□) é efectivamente o mais adequado por provocar menos danos no sistema.



Fig. 40 – Exemplos de apoios utilizados para auxiliar na delimitação do provete, em parede [23]

A rotura adesiva é predominante, independentemente da aplicação de pré-corte circular ou quadrangular.

Nos casos em que o pré-corte circular não foi realizado até ao suporte observa-se uma predominância de roturas coesivas. Este facto poderá estar relacionado com as características que o revestimento apresentava e que levaram à adopção desta alteração à técnica de pré-corte.

Tal como seria de esperar observa-se, na Fig. 41, um número de destacamentos, durante a preparação do ensaio, superior nos casos em que foi aplicado pré-corte circular. Isto vai de encontro aos pressupostos da substituição do pré-corte circular por incisões de secção quadrangular, uma vez que se entende que as vibrações introduzidas por esta técnica podem provocar a degradação do revestimento [7].

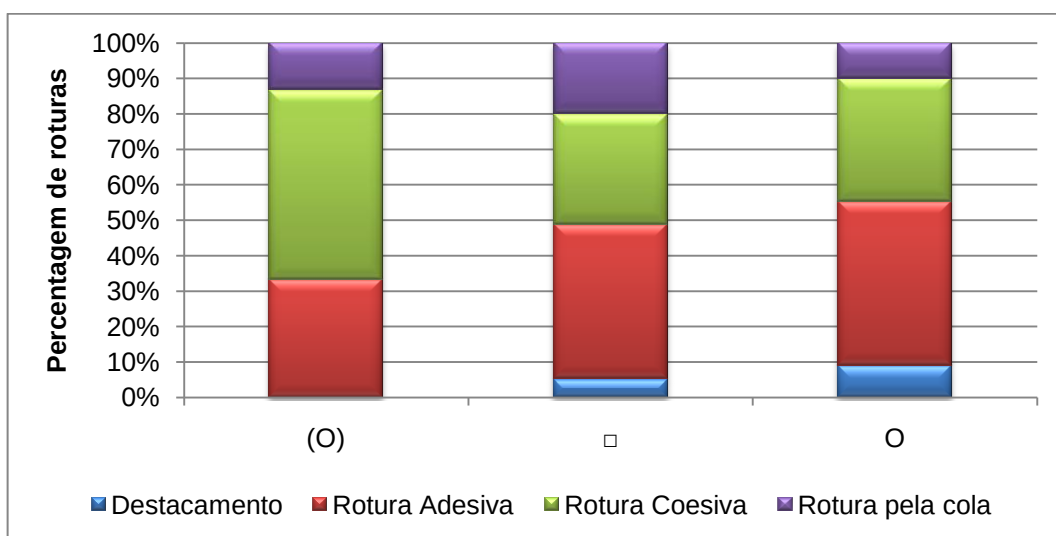


Fig. 41 – Percentagem de ocorrência de cada tipo de rotura em função da técnica de pré-corte realizada

No que diz respeito à qualidade dos resultados obtidos por cada uma das técnicas, importa em primeiro lugar referir que o pré-corte circular é o recomendado, constituindo as restantes técnicas, alternativa apenas em situações em que esta metodologia não possa ser aplicada com sucesso.

A Fig. 42 representa a média do desvio padrão associado a cada conjunto de medições, estando representado também a incerteza associada a esta média, e o valor máximo registado.

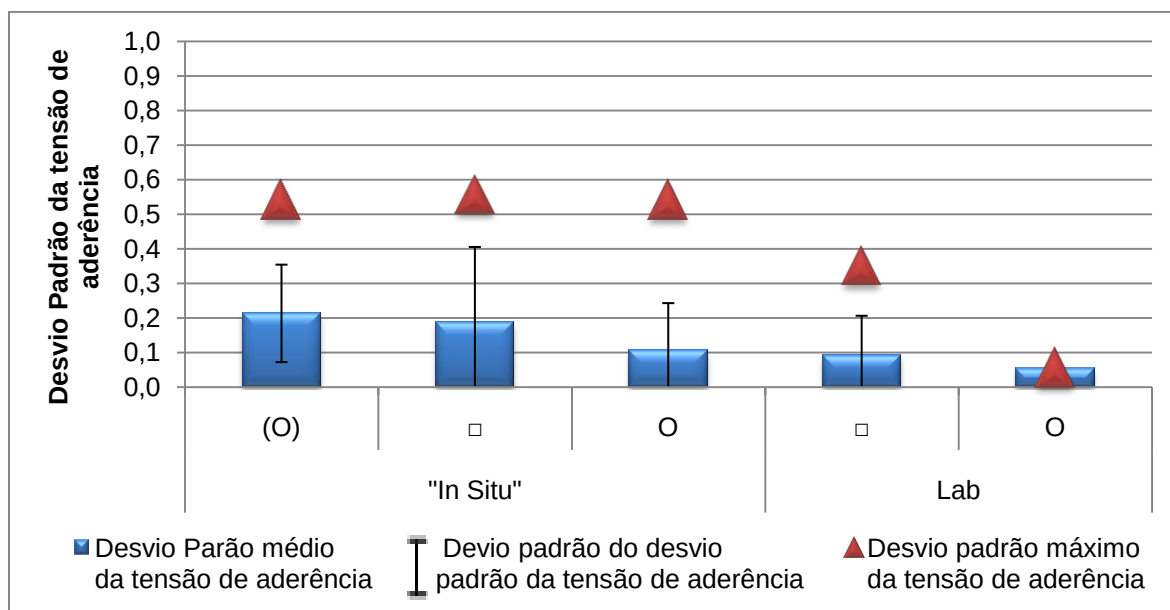


Fig. 42 – Análise do efeito do pré-corte aplicado na variação da tensão de aderência

A técnica de pré-corte circular apresenta resultados em média mais fiáveis, tanto em laboratório como *in-situ*. Os valores máximos do desvio são semelhantes independentemente da técnica aplicada.

Observa-se que *in-situ* o desvio médio dos resultados ronda os 10 % quando é aplicado o pré-corte circular e os 20 % com a aplicação de pré-corte quadrangular. O desvio máximo no entanto ronda os 55 %.

No ensaio representado na Fig. 43 [30] foram utilizadas ambas as técnicas em diferentes paredes exteriores de um mesmo edifício.

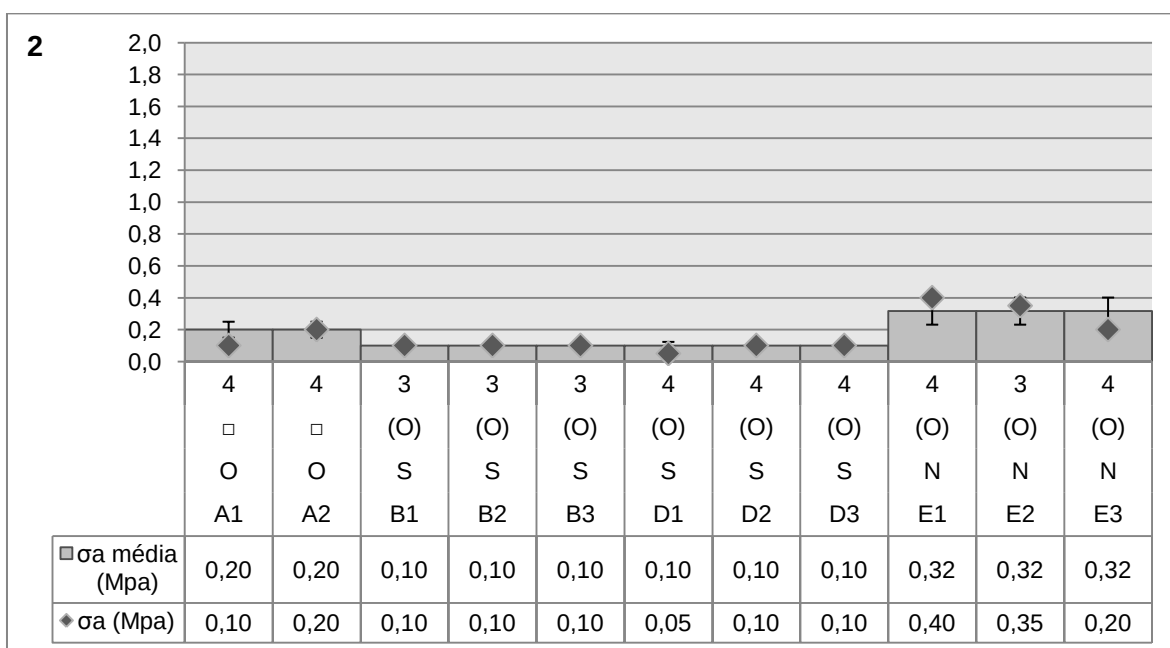


Fig. 43 – Exemplo de resultados de ensaio de arrancamento em que foram executados dois tipos de pré-corte

Na zona A, as dificuldades encontradas em fazer os furos até ao suporte levaram à utilização de cortes quadrangulares. Nas restantes zonas foram realizadas carotagens circulares, não se tendo conseguido atingir o suporte de pedra.

Nada se pode concluir acerca do influência do pré-corte nos resultados com base neste caso específico uma vez que em duas zonas em que foi aplicado pré-corte circular (sem atingir o suporte) o valor do desvio padrão foi inferior ao da zona A em que foi aplicado pré-corte quadrangular. No entanto na zona E, também foi aplicado pré-corte circular e nestas determinações o valor do desvio padrão foi superior ao da zona A.

4.5.2. INFLUÊNCIA DO SUPORTE

O suporte com maior relevância neste estudo é a alvenaria de tijolo. O grande número de ensaios realizados sobre este tipo suporte é sobretudo reflexo da sua importância na construção portuguesa e não de problemas muito significativos deste tipo de solução.

A Fig. 44 mostra o número de ensaios realizados sobre cada material de suporte.

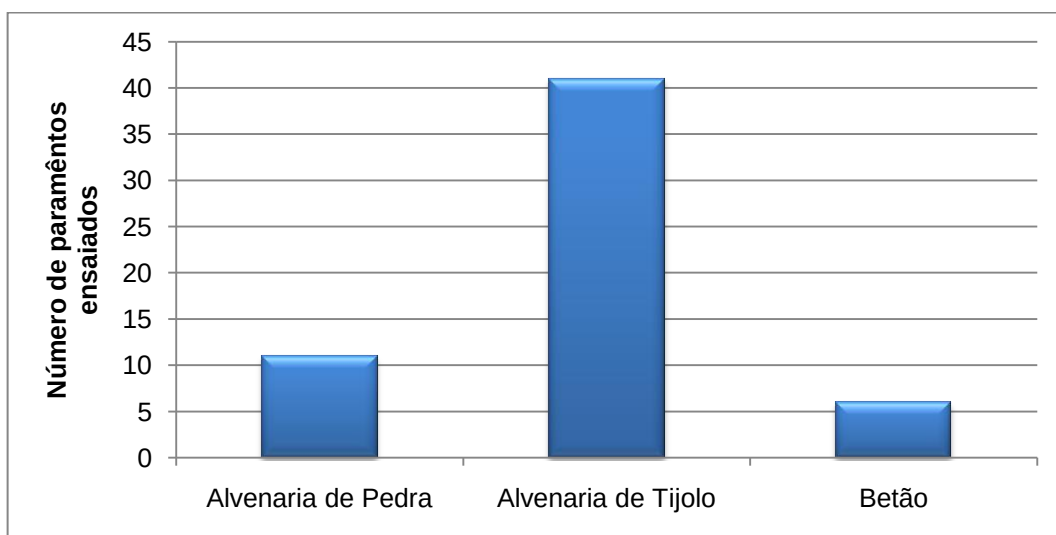


Fig. 44 – Análise do número de arrancamento realizados em cada tipo de suporte

Na Fig. 45 estão representados os tipos de rotura observados. Podemos verificar que quando é utilizado betão como suporte o número de roturas adesivas é bastante reduzido. Este facto poderá ter-se ficado a dever a uma melhor ligação entre o betão e os materiais de revestimento utilizados. Tanto o betão como os materiais que a ele aderem (reboco ou cimento-cola) têm em geral o cimento Portland como principal constituinte o que favorece a compatibilidade entre os materiais.

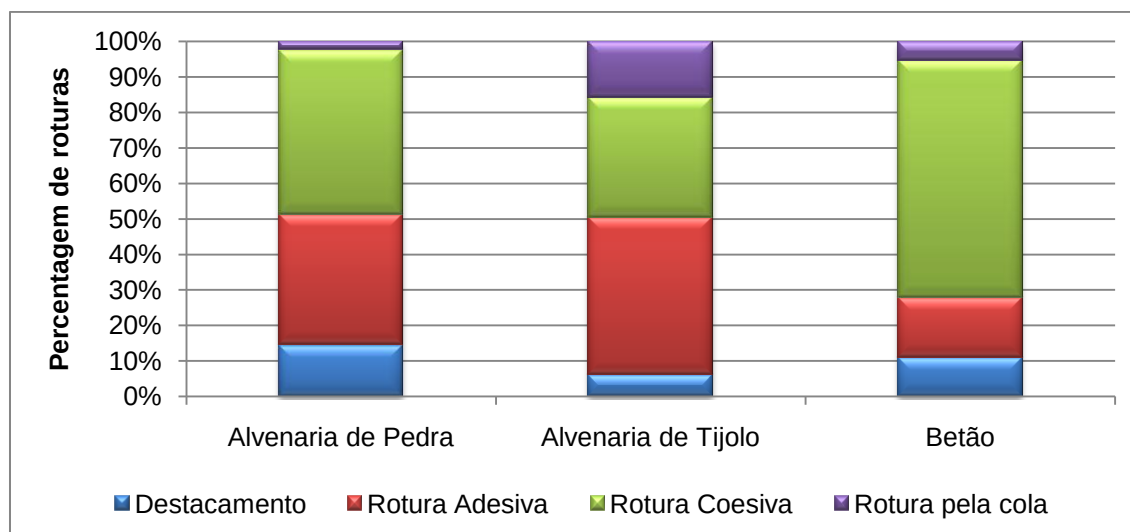


Fig. 45 – Percentagem de ocorrência de cada tipo de rotura em função do tipo de suporte

O gráfico da Fig. 46 fornece informação acerca da gama de valores obtidos para a tensão de aderência em função do tipo de suporte utilizado.

Podemos constatar que os valores obtidos em laboratório são em média bastante superiores aos valores medidos *in-situ*. Este facto levanta a questão da adequabilidade da adopção dos valores de referência, definidos para ensaios laboratoriais, na avaliação do comportamento em serviço dos revestimentos.

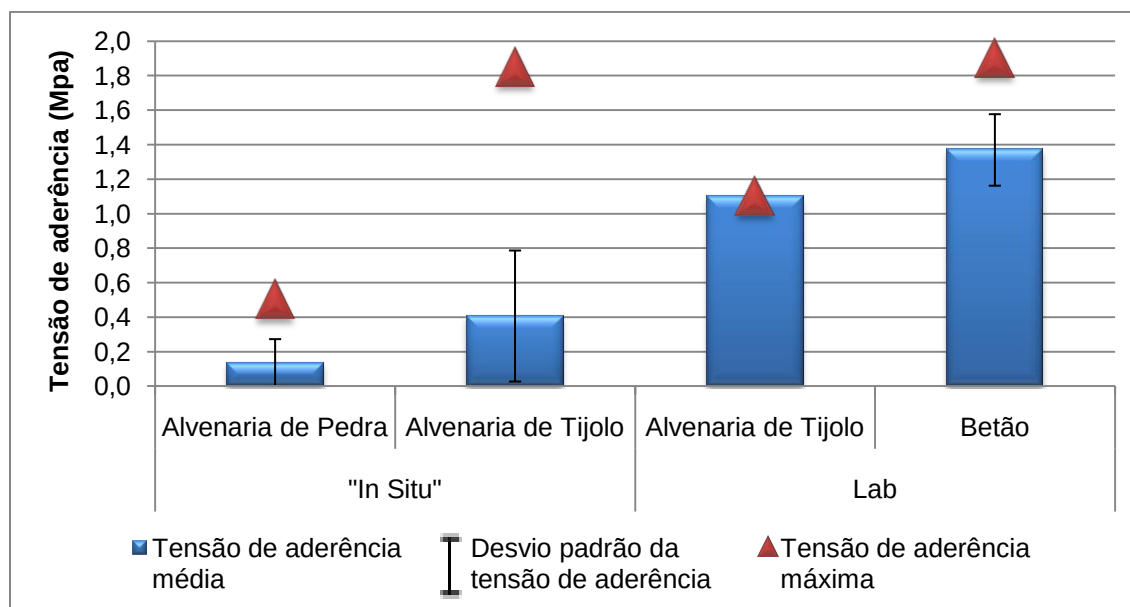


Fig. 46 – Análise da tensão de aderência média obtida em cada tipo de suporte

Verificamos ainda que apesar do valor médio da tensão de aderência ser relativamente baixo existem na amostra valores muito superiores a essa média.

No que diz respeito ao desvio padrão, os valores obtidos estão representados no gráfico da Fig. 47. Os ensaios efectuados sobre alvenaria de tijolo apresentam uma maior variabilidade em relação à alvenaria de pedra e ao betão. Isto vai de encontro ao exposto no § 2.6.1 em que se referem alguns factores que contribuem para a heterogeneidade deste sistema construtivo.

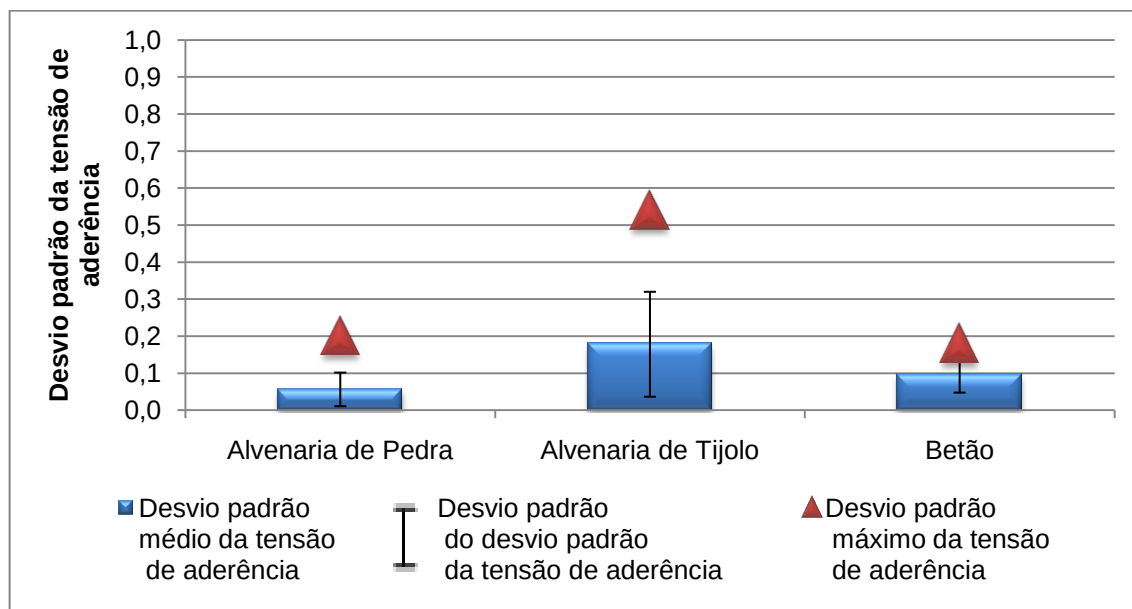


Fig. 47 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função do tipo de suporte

No que diz respeito ao betão observa-se uma relativa homogeneidade dos resultados, o valor máximo encontra-se muito próximo da média. Importa referir que o betão foi utilizado como suporte essencialmente em ensaios laboratoriais, pelo que o controle das restantes variáveis de ensaio pode ter contribuído para este resultado.

4.5.3. INFLUÊNCIA DO TIPO DE REVESTIMENTO

O material de revestimento não sendo o único constituinte do sistema de revestimento é aquele que o caracteriza. É a camada exterior do sistema que mais sofre as acções dos agentes de degradação e fornece a primeira camada de protecção do restante sistema.

Os materiais sobre os quais mais ensaios foram executados foram os rebocos e os revestimentos descontínuos aderentes, nomeadamente ladrilhos cerâmicos e placas de pedra.

O gráfico da Fig. 48 fornece informação acerca de todos os arrancamentos que foram alvo de análise. Neste gráfico estão representados todos os materiais de revestimento analisados, estando definidos os grupos em que foram agrupados para facilitar a análise.

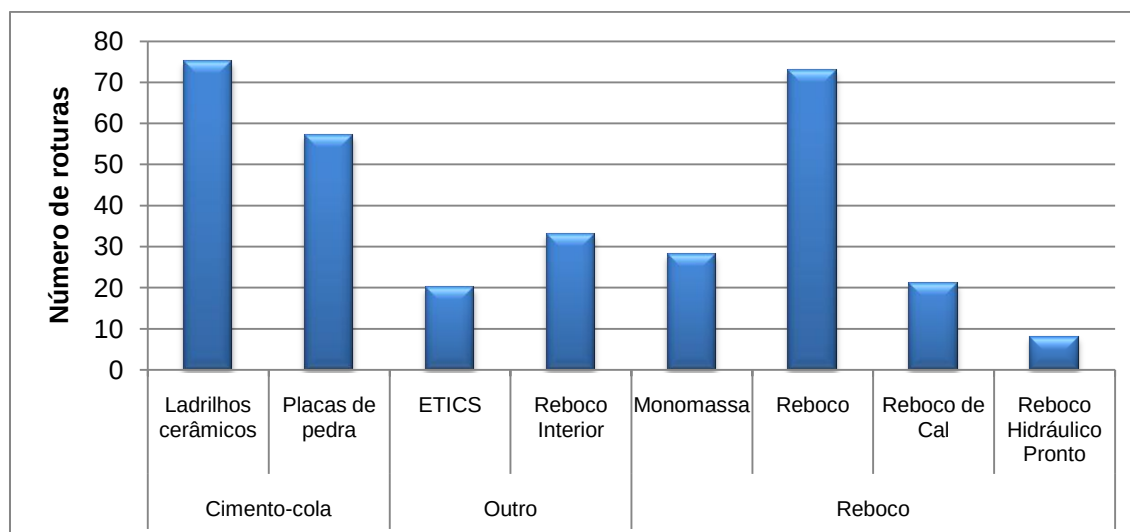


Fig. 48 – Análise do número de arrancamentos efectuados, em função do tipo de revestimento

Na Fig. 49 são ilustrados os tipos de rotura predominantes em cada grupo de revestimentos.

Podemos destacar o facto de a rotura pela cola ter uma menor incidência nos paramentos rebocados. Esta situação é explicável pela menor resistência ao arrancamento que caracteriza este tipo de material, resistência essa que não é suficiente para provocar a rotura da cola de alta resistência.

Os sistemas de revestimento descontínuos aderentes são constituídos por várias camadas. Cada uma dessas camadas possui em geral uma resistência à tracção que tende a ser superior à aderência entre elas. Este facto potencia a ocorrência de roturas adesivas neste tipo de revestimentos.

No grupo outros para além de um exemplo de reboco interior existem dois exemplos de revestimento do tipo ETICS. Neste tipo de sistema a rotura mais comum, sendo mesmo admitida como aceitável na norma que define a avaliação deste sistema, é a rotura coesiva no material de isolamento térmico. As características que conferem bom comportamento térmico a este material em geral condicionam também o seu desempenho mecânico comparativamente aos restantes elementos dos sistemas.

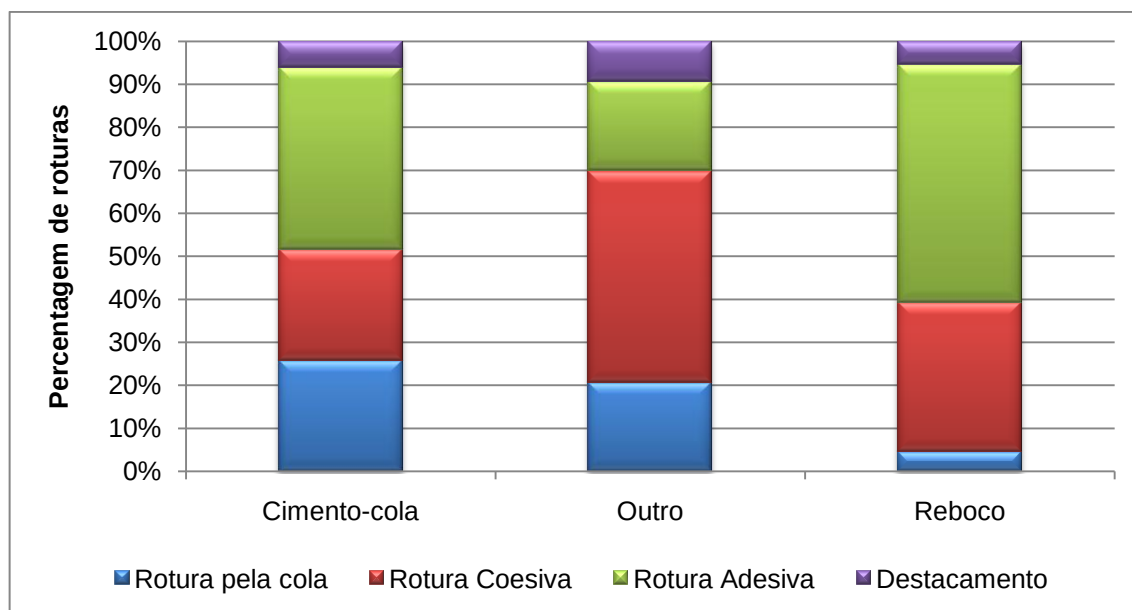


Fig. 49 – Percentagem de ocorrência de cada tipo de rotura em função do tipo de revestimento

No que diz respeito à dispersão de resultados verifica-se que o grupo outros apresenta muito melhores resultados que os restantes. Novamente este comportamento fica a dever-se ao comportamento do sistema ETICS. Como foi dito neste sistema a rotura predominante é do tipo coesivo no isolamento térmico. Tratando-se este material de um produto industrial as suas propriedades mecânicas são mais controladas que as dos materiais produzidos em obra. Em geral este tipo de material tem características mais homogêneas o que justifica os resultados obtidos.

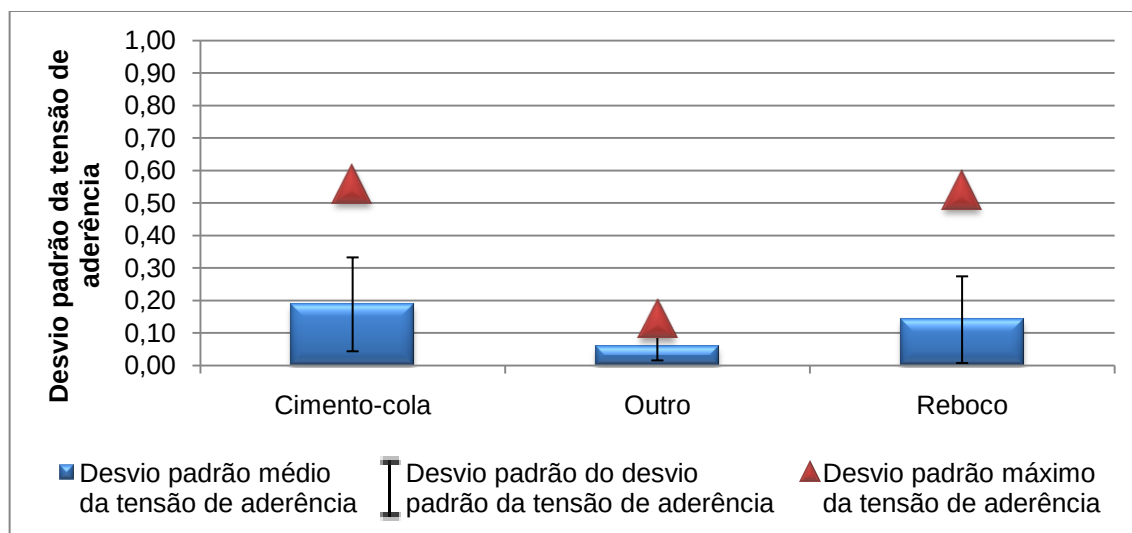


Fig. 50 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função do tipo de revestimento

4.5.4. VARIABILIDADE VS ORIENTAÇÃO SOLAR

A orientação solar tem influência nas características dos materiais de revestimento. As condições de exposição solar condicionam o processo de cura dos materiais e também a severidade dos elementos naturais (intensidade da radiação incidente, acção da chuva, vento e gelo) varia em função da orientação solar.

Podemos verificar, Fig. 51, que foram efectuados mais ensaios em paramentos orientados a sul e oeste. Estes paramentos são geralmente os mais sujeitos aos efeitos da radiação incidente, no entanto sem uma análise mais pormenorizada dos locais em que cada um se insere não é possível uma avaliação rigorosa das solicitações a que estiveram sujeitos.

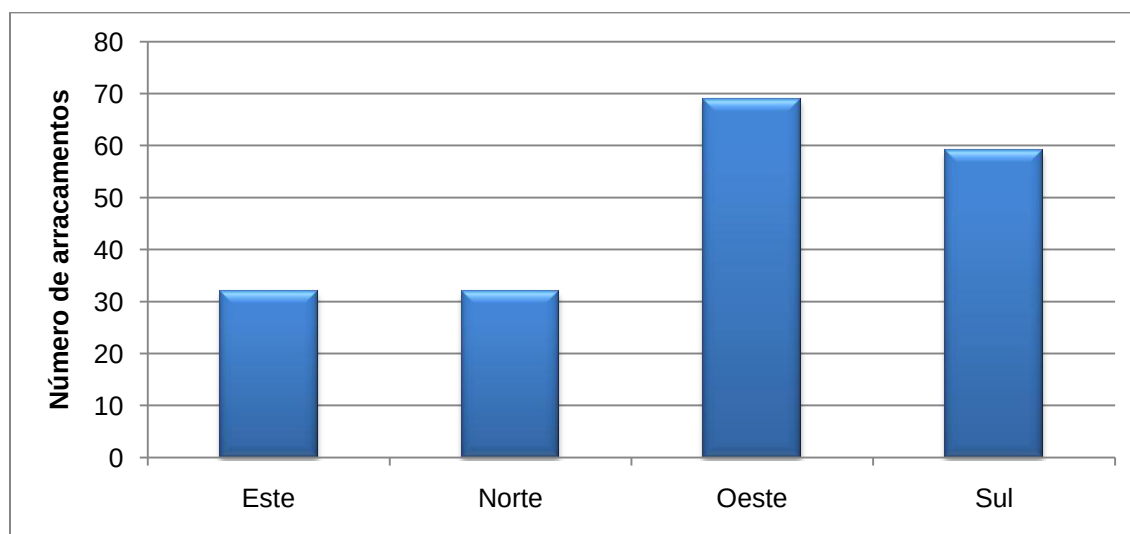


Fig. 51 – Número de arrancamentos efectuados por orientação solar

Os paramentos voltados a Este apresentam a maior variabilidade média, ao passo que os paramentos voltados a oeste parecem apresentar um comportamento mais homogéneo.

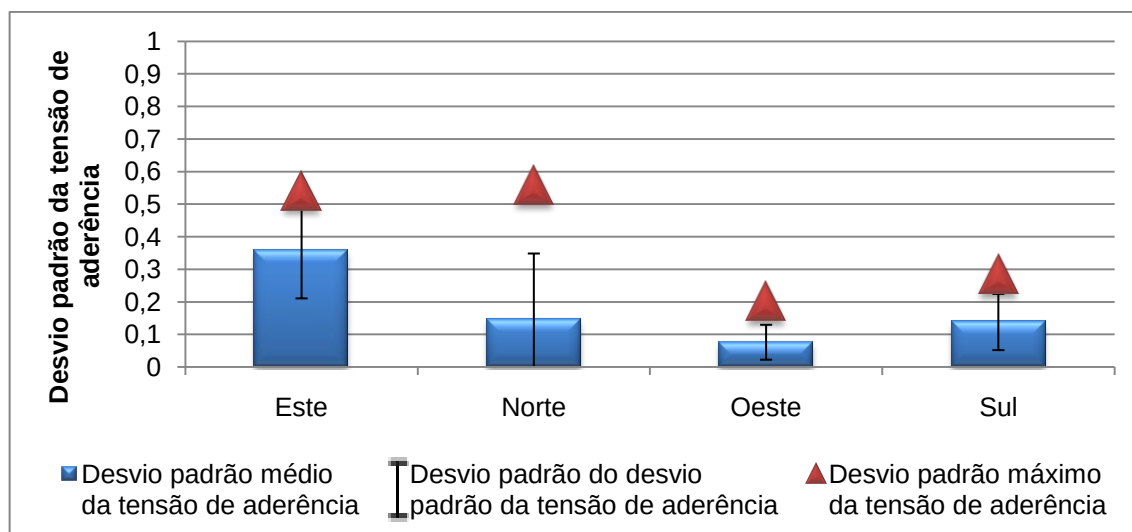


Fig. 52 – Análise da variabilidade da tensão de aderência em função da orientação solar

4.5.5. VARIABILIDADE VS DIMENSÃO DA AMOSTRA

As várias normas e recomendações consultadas indicam um número mínimo de amostragens que devem ser realizado para que os valores obtidos reflectam de forma fiável o comportamento do revestimento. Nem sempre é possível respeitar estas indicações devido a limitações de ordem económica, por dificuldades de acesso, ou mesmo por imposição do cliente uma vez que se trata de uma técnica destrutiva. O que se pretende neste ponto é avaliar de que forma varia a qualidade dos dados recolhidos número de amostras ensaiadas.

Em 20 % dos oitenta e seis paramentos ensaiados não foi possível obter qualquer resultado válido. Adicionalmente em 67 % dos paramentos, o número de amostras recolhido foi inferior a cinco, o que tornaria o resultado inválido à luz dos requisitos mínimos especificados nas várias normas de ensaio citadas.

Um ensaio é rejeitado sempre que a rotura ocorre na zona de fixação do equipamento experimental à superfície do revestimento, ou quando o revestimento, durante a preparação do ensaio atinge um grau de deterioração que impede a sua realização.

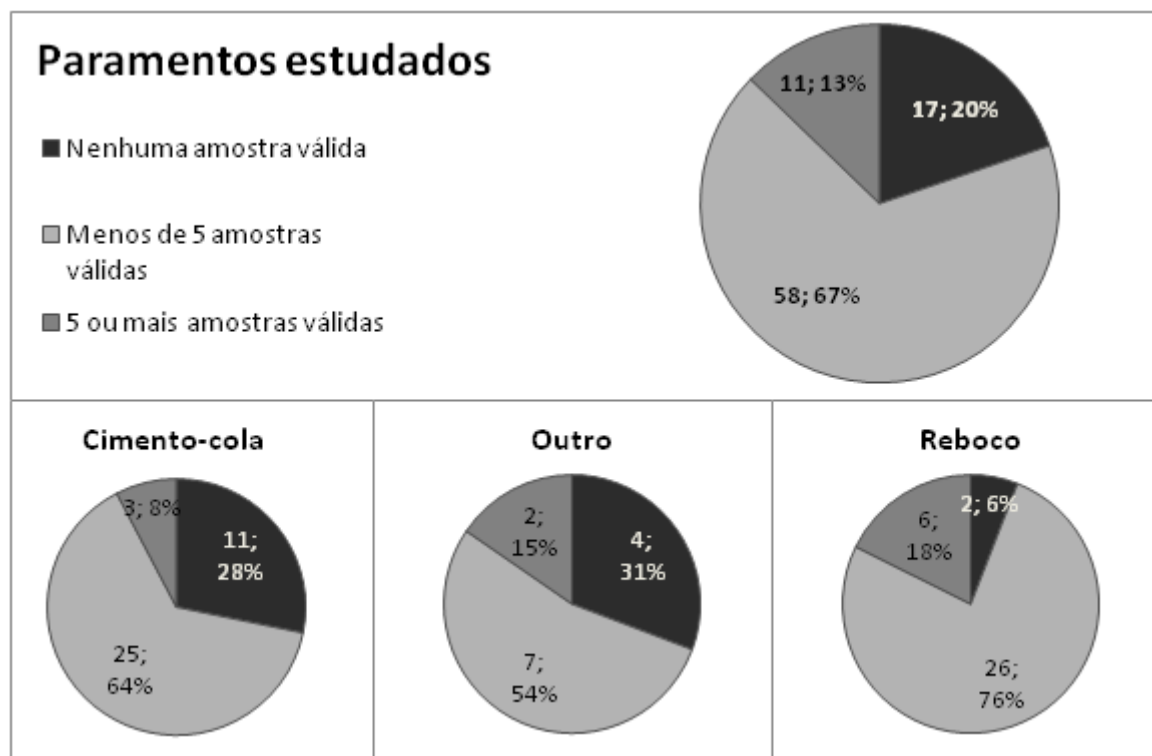


Fig. 53 – Análise do número de amostras válidas

No gráfico da Fig. 54 no eixo das abcissas está representado o número de amostras ensaiadas agrupadas por tipo de revestimento. Como ordenadas temos o desvio padrão da tensão de aderência, representado através do seu valor médio, máximo e desvio padrão associada à sua determinação.

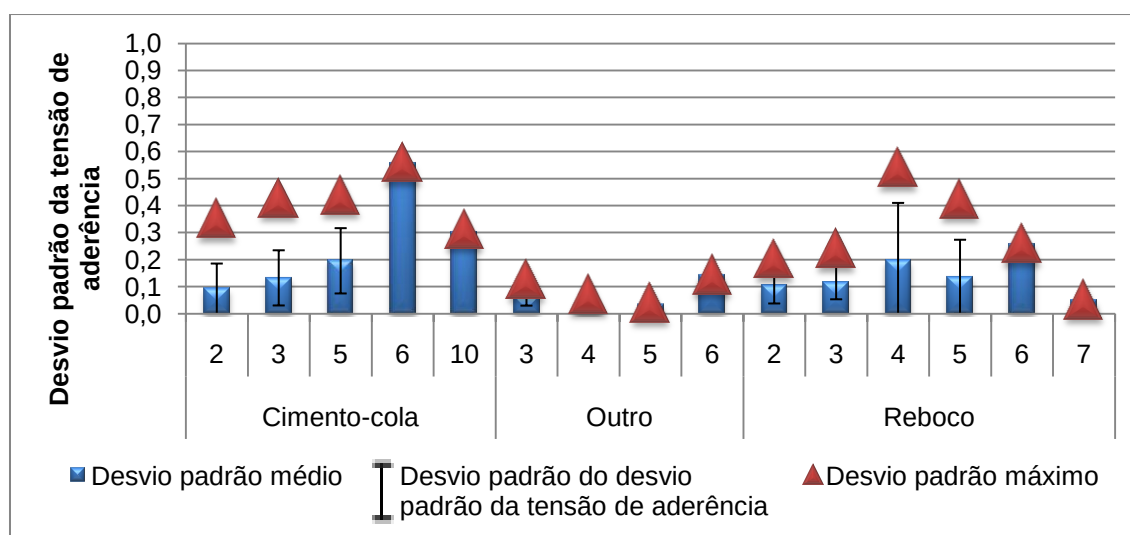


Fig. 54 – Análise da variabilidade da tensão de aderência com o número de amostras ensaiadas para cada grupo de revestimentos

Se estivéssemos perante um material homogéneo seria de esperar que aumentando o número de amostras ensaiadas conseguíssemos reduzir a incerteza associada à amostragem. O gráfico da Fig. 54 mostra uma evolução exactamente inversa.

À excepção do grupo *Outro*, onde o aumento do número de amostras parece efectivamente melhorar a qualidade dos resultados, nos restantes grupos assiste-se a uma evolução aparentemente aleatória, mas com uma tendência clara para mais amostras conduzirem a piores resultados.

Este grupo tem características particulares como foi já mencionado, o seu comportamento quando submetido ao ensaio de arrancamento assemelha-se ao de um produto industrial com características altamente controladas.

Nos restantes casos não se verifica uma melhoria dos resultados com o aumento do número de amostras. Aparentemente a incerteza associada à amostragem superam o efeito estatístico do aumento da dimensão da amostra. Estamos perante materiais altamente heterogéneos pelo que a obtenção de uma amostra significativa que caracterize efectivamente o sistema de revestimento revela-se uma tarefa bastante complexa.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES GERAIS

A realização desta dissertação confirmou a importância que o ensaio de arrancamento por tracção tem na avaliação do desempenho dos sistemas de revestimento e no controle de qualidade dos materiais associados.

A elaboração do estado da arte sobre a aderência e a aplicação do ensaio de arrancamento por tracção permitiu concluir o seguinte:

- A aderência ao suporte é um dos requisitos mais importantes que um revestimento deve garantir;
- Existem normas europeias que definem os procedimentos de ensaio aplicados a diferentes materiais, nomeadamente: a norma EN 1015-12 para rebocos e estuques, complementada pela recomendação do RILEM MDT. D.3 para aplicação *in-situ*; a norma EN 1348 para cimentos-cola permitindo a avaliação da aderência dos sistemas de revestimento descontinuos aderentes; a ETAG 004 para o sistema ETICS;
- Existem normas noutros países com especificações idênticas nomeadamente a norma americana ASTM D 4541-2, o que demonstra que o procedimento é na sua globalidade ratificado pela comunidade científica internacional;
- Existem omissões nos documentos normativos, nomeadamente ao nível da resistência que a interface de ligação equipamento de ensaio/revestimento deve garantir e da variabilidade admissível para os resultados do ensaio de arrancamento por tracção;
- Tomou-se conhecimento da existência de uma cola de alta resistência baseada em resinas de *polyester* que poderá ser uma alternativa às colas baseadas em resinas *epoxy* por diminuir o tempo de espera durante a cura da cola;

A procura de valores de referência para a interpretação dos resultados obtidos pela aplicação do ensaio de arrancamento por tracção permitiu a definição de requisitos mínimos que os revestimentos devem garantir em termos de aderência:

- A valor 0,3 MPa é habitualmente referido como limite mínimo de desempenho de um reboco no que diz respeito à aderência. Para além do valor médio deve garantir-se que nenhuma determinação apresenta valores inferiores a 0,2 MPa. Admite-se no entanto a existência de valores inferiores a estes no caso de ocorrer uma rotura coesiva no reboco;
- O valor mínimo de desempenho de um sistema de revestimento descontínuo aderente é de 0,5 MPa;
- A generalidade da informação referente ao sistema ETICS encontra-se expressa na ETAG 004. O valor mínimo da aderência definido é de 0,08 MPa.

Foram no entanto reveladas algumas lacunas durante a pesquisa efectuada:

- Num grande número de publicações científicas desta área é feita referência a valores mínimos exigíveis, sem no entanto ser referida a origem desse valor ou o dimensionamento que lhes deu origem. Este facto gera alguma ambiguidade de critérios;
- Algumas normas que definem os procedimentos de ensaio não quantificam valores aceitáveis para a análise dos seus resultados;
- Não são definidos na norma relativa a especificações de argamassas de reboco *EN 998-1* quaisquer valores que permitam avaliar o desempenho destes sistemas;
- No caso dos cimentos-cola a norma de ensaio remete para a norma *EN 12004* onde estão definidos os requisitos a exigir a estes materiais;

A análise dos excertos de relatórios disponibilizados pelo LFC-FEUP permitiu estudar o campo de aplicação do ensaio de arrancamento por tracção:

- O ensaio é geralmente utilizado na inspecção de edifícios que revelam algum tipo de anomalia, sendo a perda de aderência, com ou sem destacamento, e a fissuração as principais patologias apontadas;
- O ensaio é habitualmente aplicado a paramentos exteriores rebocados e a revestimentos descontínuos aderentes, quer com placas de pedra natural, quer com elementos cerâmicos.
- Registaram-se ainda dois exemplos de inspecção a edifícios com revestimento do tipo ETICS, uma inspecção a um reboco interior e uma a um revestimento interior de um reservatório;
- No que diz respeito ao suporte, a generalidade dos casos analisados consistia em alvenaria de tijolo, tendo-se no entanto observado alguns exemplos em que o suporte era de alvenaria de pedra. O betão é geralmente o material escolhido como suporte nos ensaios laboratoriais;

Foi também possível a partir destes relatórios analisar os valores de aderência habitualmente encontrados e estudar a sua variabilidade:

- Constatou-se que os valores médios da tensão de aderência medidos em laboratório são na sua generalidade superiores aos valores medidos *in-situ*. Este facto levanta a questão da adequação dos valores de referência, definidos para laboratório, na avaliação do comportamento em serviço dos revestimentos;
- Ficou patente que o pré-corte circular (recomendado nos documentos técnicos) conduz a resultados mais fiáveis, no entanto origina um maior número de arrancamentos nulos (destacamento durante a preparação do ensaio);
- Verificou-se que o suporte em betão conduz a menos roturas do tipo adesivo do que os restantes materiais de suporte estudados;
- Os dados analisados não permitem identificar um aumento da fiabilidade dos resultados quando se aumenta o número de determinações associadas a um ensaio. Efectivamente observa-se que o aumento do número de determinações aumenta a variabilidade dos resultados. O aumento do número de determinações mobiliza um maior número de heterogeneidades que podem dar origem a valores divergentes.
- Em paramentos revestidos com revestimentos descontínuos aderentes o valor médio da tensão de aderência obtido ronda os 0.70 MPa (com um coeficiente de variação de 70 %).
- Em média o valor obtido para a tensão de aderência de paramentos rebocados é de 0,28 MPa (com um coeficiente de variação de 100 %) este valor revela uma tendência dos paramentos rebocados estudados em não satisfazer os requisitos mínimos exigidos.

- O valor médio da tensão de aderência em sistemas ETICS situa-se nos 0,08 MPa, precisamente o valor mínimo requerido.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os objectivos deste trabalho não se esgotam neste texto. A variabilidade de resultados obtidos pela aplicação desta técnica de ensaio deve continuar a ser monitorizada nos estudos levados a cabo pelo LFC-FEUP.

Para possibilitar a análise da dispersão dos resultados, e dos factores que condicionam esta variabilidade, sugere-se a criação de um modelo padrão de boletim de ensaio que inclua sempre que possível para além dos resultados do ensaio os seguintes elementos:

- Tipo de revestimento;
- Tipo de suporte;
- Idade do sistema;
- Histórico de reparações;
- Registo das condições atmosféricas durante a realização do ensaio;
- Referência do produto utilizado na colagem das pastilhas metálicas;
- Posição dos corpos de prova;
- Orientação solar do paramento;
- Outros elementos que se considerem relevantes para a caracterização da heterogeneidade do sistema;

Paralelamente a esta alteração de procedimentos recomenda-se que sejam estudados os factores que podem condicionar a variabilidade dos resultados através da realização em simultâneo de ensaios sobre diferentes zonas dos edifícios em estudo, nomeadamente:

- Estudar a influência da orientação solar através da realização de ensaios sobre diferentes paramentos de um mesmo edifício;
- Estudar a influência do tipo de suporte testando diferentes zonas do paramento;
- Estudar a influência do pré-corte através da realização de três conjuntos de determinações com pré-corte circular, quadrangular e sem pré-corte;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Malhotra, V. M., e N. J. Carino. *Handbook on nondestructive testing of concrete*. 2ª Edição. USA: CRC Press, 2003.
- [2] Flores-Colen, Inês. *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*. Tese de Doutoramento, IST, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009.
- [3] Veiga, M. Rosário, e Martha Tavares. “Características das paredes antigas. Requisitos dos Revestimentos por pintura.” Montagem por APTETI. *Actas do encontro a indústria das tintas no início do século XXI*. Lisboa, 2002.
- [4] Sousa, Hipólito de. “Alvenarias em Portugal situação actual e perspectivas futuras.” Montagem por P. B. Lourenço e H. Sousa. *Seminário sobre paredes de alvenaria*. Porto, 2002. 17-40.
- [5] CEN. *NP EN 12004: Colas para ladrilhos. Requisitos, avaliação da conformidade, classificação e designação*. Bruxelas: IPQ, 2008.
- [6] Quintela, Marisa Betânia de Oliveira Antunes. “Durabilidade de revestimentos de parede em reboco monocamada.” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.
- [7] APICER. *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*. Coimbra: APICER, 2003.
- [8] Santos, Heraldo Barbosa dos. “Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.” *Monografia*. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.
- [9] Costa, José Mário, e Maria Regina Rocha. “Cuidado com a língua.” *RTP*. 19 de Janeiro de 2007. <http://www.rtp.pt/multimedia/?tvprog=21216&idpod=3944&pag=recentes> (acedido em Junho de 2009).
- [10] Gonçalves, Adelaide, Jorge Brito, e Fernando Branco. “Reabilitação de paredes de alvenaria revestidas.” *2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*. Lisboa: APFAC, 2007. 11.
- [11] Flores-Colen, Inês, Jorge de Brito, e Fernando A. Branco. “Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento.” Montagem por APFAC. *2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*. Lisboa, 2007. 11.
- [12] Flores-Colen, Inês, Jorge Brito, e V. Peixoto de Freitas. “Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of renfered façades.” *Journal of Building Appraisal*, Junho de 2006: 142-156.
- [13] LNEC. “Revestimento de paredes. Ensaio de arrancamento por tracção. Ficha de ensaio FE Pa36.” Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1986, 3.
- [14] RILEM. “RILEM Recommendation MDT. D.3. Determination "in situ" of the adhesion strength of rendering and plastering mortars to their substrate.” *Materials and Structures. RILEM Publications*, Agosto-Setembro de 2004: 488-490.
- [15] CEN. “EN 1015-12: Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of

- adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates.” Bruxelas: European Committee for Standardization, February de 2000.
- [16] CEN. “EN 1348: Adhesives for tiles - Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives.” Montagem por European Committee for Standardization. Bruxelas: European Committee for Standardization, August de 2007.
- [17] ASTM. “D 4541-02: Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers.” Montagem por ASTM. USA, April de 2002.
- [18] EOTA. “ETAG004: Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation.” European Organization for Technical Approval, Brussels, 2000.
- [19] Pereira, Fernando Pedro Fernandes. *Avaliação laboratorial do desempenho do ETICS*. Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [20] Veiga, Maria Rosário. “Comportamento de revestimentos de fachada com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho.” *1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção*. Lisboa: APFAC, 2005.
- [21] Grøn, Christian, et al. “Norden, Nordisk Innovations Center.” Junho de 2007. <http://www.nordicinnovation.net/nordtestfiler/tr604.pdf> (acedido em Abril de 2009).
- [22] Costa, Eliane, Carasek, Helena, Alves, Amália. “Determinação da resistência superficial de revestimentos de argamassa empregando uma adaptação da NBR 13528.” *VIII Simpósio Brasileiro da Tecnologia das Argamassas*. Curitiba - PR - Brasil, 2009. 11.
- [23] Costa, Eliane, Carasek, Helena. “Recomendações para a execução do ensaio de resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa.” *VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Curitiba - PR - Brasil, 2009. 15.
- [24] LFC. *BE 5 - Avaliação da aderência de "Reboco Hidráulico Pronto - RHP de uma fachada*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2000.
- [25] Nakakura, Elza, Munhoz, Flavio, Battagin, Arnaldo. “Evolução da aderência em sistemas de revestimento de argamassa.” *VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Curitiba - PR - Brasil, 2009. 14.
- [26] Freitas, Vasco Peixoto, et al. “Discussing the Durability Assessment of Cement Mortars - a Contribution for Prediction Model.” Montagem por Nil Türkeri e Özkan Şengül. *11 DBMC International Conference on Durability Materials and Components*. Istanbul: Istanbul Technical University, 2008. 151-158.
- [27] Sá, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira e. *Durabilidade dos cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas*. Tese de Mestrado, Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [28] Afonso, F. Paes. *Instituto Nacional de Estatística*. Seminário Censos 2001. http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=107061&att_display=n&att_download=y (acedido em Março de 2009).
- [29] LFC. *BE 1 - Avaliação da aderência de reboco sobre alvenaria de tijolo*. Boletim de Ensaio,

Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 1997.

- [30] LFC. BE 2 - *Avaliação da aderência de reboco aplicado em alvenaria de pedra de um convento do norte de Portugal*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 1998.
- [31] LFC. BE 3 - *Caracterização laboratorial de cimento-cola usado na fixação de um revestimento de fachada em granito*. Boletim de Ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 1998.
- [32] LFC. BE 4 - *Avaliação da aderência de revestimentos cerâmicos de uma fachada*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2000.
- [33] LFC. BE 6 - *Avaliação da aderência do reboco não-tradicional, monomassa, nas fachadas de um edifício hospitalar*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2001.
- [34] LFC. BE 7 - *Avaliação da aderência de reboco à base de cal nas fachadas de um Mosteiro*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2001.
- [35] LFC. BE 8 - *Avaliação da aderência de revestimento cerâmico em edifício multifamiliar*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2009.
- [36] LFC. BE 9 - *Caracterização laboratorial de fachada rebocada de um edifício nos Açores*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2002.
- [37] LFC. BE 10 - *Caracterização laboratorial da aderência de cimento-cola*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado - CONFIDENCIAL, 2002.
- [38] LFC. BE 11 - *Caracterização laboratorial da aderência de um cimento-cola sujeito a envelhecimento acelerado*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2004.
- [39] LFC. BE 12 - *Avaliação da aderência de ladrilhos cerâmicos sobre sobre alvenaria de tijolo*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2005.
- [40] LFC. BE 13 - *Avaliação da aderência do revestimento interior de uma habitação*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2005.
- [41] LFC. BE 14 - *Avaliação da aderência de reboco aplicado nas fachadas de edifício antigo com valor patrimonial*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2006.
- [42] LFC. BE 15 - *Avaliação da aderência de reboco aplicado nas fachadas de um edifício*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2007.
- [43] LFC. BE 16 - *Avaliação da aderência de reboco aplicado nas fachadas de um edifício*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2007.
- [44] LFC. BE 17 - *Avaliação da aderência de monomassa da fachada de um edifício*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.
- [45] LFC. BE 18 - *Avaliação de aderência de ladrilhos cerâmicos num edifício da cidade do Porto*. Relatório de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.
- [46] LFC. BE 19 - *Avaliação de aderência de revestimento interno de um reservatório*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.

- [47] LFC. *BE 20 - Avaliação de aderência do sistema ETICS em edifício multifamiliar*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.
- [48] LFC. *BE 21 - Avaliação da aderência de revestimento ETICS em moradia nova*. Boletim de Ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.
- [49] LFC. *BE 22 - Avaliação da aderência de revestimento exterior em edifício industrial recém reabilitado*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.
- [50] LFC. *BE 23 - Avaliação da aderência do cimento-cola aplicado na fachada de um edifício com revestimento em pedra*. Boletim de ensaio, Porto: Não publicado, CONFIDENCIAL, 2008.
- [51] Flores-Colen, Inês, Jorge de Brito, e V. Peixoto de Freitas. “Condition assessment of façade rendering through in-situ testing.” Montagem por A. Nil Türkeri e Özkan Şengül. *11 DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Istanbul: Istanbul Technical University, 2008. 1741- 1750.