



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Utilização de Elementos Cerâmicos Colados em Fachadas Ventiladas**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

**Autor**

**Samuel Nuno da Conceição Catarino do Pranto**

**Orientadores**

**Professor Doutor António José Barreto Tadeu**

**Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões**

**Coimbra, Fevereiro, 2010**

## AGRADECIMENTOS

Para a realização desta dissertação, foi indispensável o contributo de algumas pessoas, às quais quero manifestar os meus sinceros agradecimentos:

Ao Prof. António Tadeu e ao Prof. Nuno Simões, que desde o primeiro dia viram potencial para este projecto, pelos seus conselhos e apoio dado no decurso da extensa campanha de ensaios e especialmente pela motivação e confiança transmitida para a realização dos mesmos.

Ao Eng. Jorge Girão e ao Eng. Nuno Amaro, da Revigrés, pela simpatia e disponibilidade técnica prestada antes e durante a realização dos ensaios.

Ao Eng. Filipe Bandeira pelos seus conselhos e opiniões, ao Eng. Saúl Martins pela paciência, empenho e dedicação com que me ajudou a levar a cabo os ensaios previstos. Finalmente, ao Eng. Filipe Gonçalves e aos restantes trabalhadores do ITECONS.

Ao José Carvalho e Luís Coelho pela amizade e vontade que mostraram em ajudar-me na parte da elaboração dos provetes para ensaio, ao Pedro Tomás, Carina Costa, Teresa Sofia e Diogo Gomes, pela companhia que fizeram durante os tempos infindáveis atrás do computador.

Por fim, mas não menos importante, à minha família: ao meu Pai, Mãe, Irmã, Tia Júlia, Tia Isabel, Tio Cardoso, Avôs e Avós, primo e primas.

À minha namorada

Aos meus colegas e amigos, em especial ao Muri, Fina, Lages, Berto, Godinho, Henrique, Zé Luís, Almeida, Pedrosa.

A todos, Bem Hajam!

## RESUMO

Entre os sistemas de revestimento de edifícios actualmente disponíveis, as fachadas ventiladas assumem um papel de destaque, em virtude das suas vantagens, face aos revestimentos tradicionais, aliadas a inúmeras possibilidades de aplicação em diversas opções arquitectónicas.

No âmbito da indústria cerâmica, os recentes produtos em grés porcelânico são caracterizados por uma elevada resistência e pela possibilidade de redução de espessura que lhes confere um peso por área de construção bastante inferior ao dos restantes produtos, constituindo assim uma solução vantajosa e que permite versatilidade e uma vasta aplicabilidade a este tipo de solução.

A par da evolução e do aperfeiçoamento das soluções de revestimentos cerâmicos, têm sido também desenvolvidas novas técnicas de fixação através da colagem dos produtos de revestimento aos respectivos suportes, em alternativa à tradicional fixação mecânica.

O presente trabalho foi desenvolvido no sentido de testar a aplicação de revestimentos cerâmicos em sistemas de fachada ventilada, recorrendo à técnica de colagem.

O objectivo deste trabalho consiste em avaliar a viabilidade da colagem, do conjunto ladrilho/perfil metálico, através de uma campanha de ensaios onde se reproduz a acção do seu próprio peso e do vento sob diferentes condições ambientais mais comuns, nomeadamente a temperatura, a humidade, a radiação solar e ciclos de gelo/degelo.

Os resultados deste estudo contribuirão para a definição das condições de aplicabilidade da técnica de colagem de revestimentos cerâmicos em perfis metálicos, como parte integrante de fachadas ventiladas.

## **ABSTRACT**

Among the building cladding systems currently available, ventilated facades assume a leading role due to their advantages over traditional cladding, together with their numerous application possibilities across a range of architectural options.

Within the ceramic industry, the latest products in full body porcelain tiles are characterized by high resistance and reduced thickness, which considerably lowers the weight per area of construction when compared to other products, thus providing a solution that is advantageous, shows versatility and has wide applicability.

Along with the development and improvement of ceramic tile solutions, new techniques for fixation by bonding the cladding products to their respective support have been developed as an alternative to the traditional mechanical fixation.

This study was developed in order to test the application of ceramic tiles in ventilated facade systems using adhesives.

The main aim of this project is to evaluate the viability of both the bonding technique and the set tile/metal beam by a battery of tests that mimic the action of its own weight and the effect of the wind under the different environmental conditions to which it is most commonly exposed, namely temperature, humidity, solar radiation and freezing/thawing cycles.

The results of this study may contribute to defining the applicability conditions of bonding ceramic tiles on metal beams as part of ventilated facades.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1	ENQUADRAMENTO AO TEMA.....	1
1.2	OBJECTIVOS DO TRABALHO.....	3
1.3	METODOLOGIA ADOPTADA.....	4
1.4	ESTRUTURA DA TESE.....	4
<b>2</b>	<b>FACHADAS VENTILADAS E UTILIZAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS.....</b>	<b>6</b>
2.1	INTRODUÇÃO.....	6
2.2	DESCRIÇÃO E EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS.....	6
2.2.1	<i>Estanquidade</i> .....	7
2.2.2	<i>Conforto higrotérmico</i> .....	7
2.2.3	<i>Conforto acústico</i> .....	9
2.2.4	<i>Estabilidade e segurança ao uso</i> .....	9
2.2.5	<i>Protecção contra incêndios</i> .....	9
2.2.6	<i>Considerações gerais</i> .....	10
2.3	ACÇÕES APLICADAS A FACHADAS VENTILADAS.....	10
2.3.1	<i>Acções verticais</i> .....	11
2.3.2	<i>Acções devidas ao vento</i> .....	11
2.3.3	<i>Acções devidas à humidade e/ou temperatura</i> .....	11
2.3.4	<i>Acções devidas a sismos ou causas fortuítas</i> .....	12
2.4	TIPOS DE FIXAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS VENTILADAS EM COMERCIALIZAÇÃO.....	12
2.4.1	<i>Grampos face-à-vista</i> .....	12
2.4.2	<i>Grampos ocultos</i> .....	12
2.4.3	<i>Recurso a expansores</i> .....	13
2.4.4	<i>Recurso a colas</i> .....	14
2.5	ELEMENTOS CERÂMICOS EM COMERCIALIZAÇÃO PARA APLICAÇÃO EM FACHADAS VENTILADAS.....	14
2.5.1	<i>Fabrico por extrusão</i> .....	14
2.5.2	<i>Grés porcelânico</i> .....	15
2.5.3	<i>Grés porcelânico maquinado</i> .....	15
2.5.4	<i>Grés porcelânico de espessura reduzida</i> .....	16
2.5.5	<i>Lâmina cerâmica</i> .....	16
2.5.6	<i>Impressão personalizada</i> .....	16
<b>3</b>	<b>FIXAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS VENTILADAS POR COLAGEM 18</b>	
3.1	INTRODUÇÃO.....	18
3.2	SISTEMA DE FIXAÇÃO DA FACHADA AO EDIFÍCIO.....	18
3.3	LADRILHO CERÂMICO.....	19
3.3.1	<i>Processo de fabrico</i> .....	20
3.4	SISTEMA DE COLAGEM.....	24
<b>4</b>	<b>CAMPANHA DE ENSAIOS.....</b>	<b>26</b>

---

4.1	INTRODUÇÃO .....	26
4.2	METODOLOGIA EXPERIMENTAL .....	26
4.2.1	<i>Conceitos</i> .....	26
4.2.2	<i>Escolha de provetes</i> .....	27
4.2.3	<i>Condições de ensaio</i> .....	31
4.3	PREPARAÇÃO DOS PROVETES .....	33
4.3.1	<i>Material de laboratório</i> .....	33
4.3.2	<i>Provetes ensaiados ao corte</i> .....	34
4.3.3	<i>Provetes ensaiados sob carga positiva e sob carga negativa</i> .....	35
4.4	EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA O CONDICIONAMENTO DE PROVETES E REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	37
4.4.1	<i>Câmaras climáticas</i> .....	37
4.4.2	<i>Câmara gelo-degelo</i> .....	37
4.4.3	<i>Solar Box</i> .....	38
4.4.4	<i>Máquina universal de ensaios</i> .....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E CONCLUSÕES DOS ENSAIOS.....</b>	<b>44</b>
5.1	ENSAIO DE FLEXÃO COM MOSAICO COLADO A TUBOS DE ALUMÍNIO .....	44
5.2	ENSAIOS À FLEXÃO DE MOSAICOS NÃO COLADOS .....	45
5.3	ENSAIOS AO CORTE .....	46
5.4	CAPACIDADE RESISTENTE DOS MOSAICOS COLADOS .....	48
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>53</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	53
6.2	TRABALHOS FUTUROS.....	54
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>A</b>

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 - Triumph Palace Moscow, edifício de 57 andares com 264,1m de altura construído com recurso a uma fachada ventilada com revestimento cerâmico (2003) (@Wikipedia - 2009 [1]).....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2.1- Esquema com os principais constituintes de uma fachada ventilada.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.2- Esquema exemplificativo da estanquidade à água de uma fachada ventilada.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.3 –Esquemas exemplificativos da capacidade de isolamento térmico para temperaturas extremas .....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2.4 - Esquema exemplificativo da capacidade de evaporação de água pela caixa-de-ar .....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.5 - Esquema exemplificativo da estanquidade à água de uma fachada ventilada.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.6 - Esquema exemplificativo das capacidades ignífugas do revestimento de uma fachada ventilada .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.7 – Exemplos de montagem de uma fachada ventilada com recurso à solução de grampos face-à-vista (Construlink - @2009 [6] ).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2.8 – Exemplo de montagem de uma fachada ventilada com recurso à solução de grampos ocultos (adaptado de Construlink - @2009 [6]).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2.9 – Exemplo de montagem de uma fachada ventilada com recurso a expansores (adaptado de EuroFOX - @2009 [5]).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.10 – Exemplo de uma peça de grés porcelânico maquinada e a sua possível aplicação a uma fachada ventilada (adaptado de Aleluia - @2009 [10]) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.11–Exemplo de dois acabamentos diferentes personalizados (Favemanc - @2009 [11]).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.1 – Esquema representativo de um sistema tipo de fixação paramento/painéis cerâmicos (adaptado de EuroFOX - @2009 [5]) .....</i>	<i>19</i>

---

<i>Figura 3.2- Recepção e armazenamento das matérias-primas: a) Zona de recolha de matérias-primas; b) Tulhas de armazenamento</i> .....	20
<i>Figura 3.3 – Armazenamento e moagem de matérias-primas: a) Silos de armazenamento de matérias –primas; b) Cilindro de moagem</i> .....	21
<i>Figura 3.4 – Transporte da pasta: a) Pasta em transporte ; b) Tubagens destinadas a conduzir a pasta</i> .....	21
<i>Figura 3.5 – Etapa de atomização e armazenamento do pó: a) Atomizador b) Silos de armazenamento de pó</i> .....	22
<i>Figura 3.6 – Prensagem e secagem dos ladrilhos: a) Prensa hidráulica ; b) Secador</i> .....	22
<i>Figura 3.7 - Transporte e cozedura das peças cerâmicas: a) Passadeira de transporte ; b) Forno de cozedura</i> .....	23
<i>Figura 3.8 – Embalamento e armazenagem do produto final: a) Dispositivo de embalamento ; b) Armazenamento do produto final</i> .....	23
<i>Figura 4.1 – Ensaio dos provetes ao corte: a) Acessório para o ensaio ao corte ; b) Provede montado neste acessório</i> .....	27
<i>Figura 4.2 – Instrumentos utilizados para confirmar a não existência de empenos na chapa de alumínio: a) Régua bixelada e “apalpa-folgas” ; b) Verificação da planeza</i> .....	28
<i>Figura 4.3 – Esquema exemplificativo de um provete a ensaiar ao corte (dimensões em mm)</i> .....	29
<i>Figura 4.4 – Esquema exemplificativo de um provete a ensaiar à flexão (dimensões em mm)</i> .....	30
<i>Figura 4.5 - Esquema exemplificativo de um provete ensaiado à flexão sob carga positiva (dimensões em mm)</i> .....	30
<i>Figura 4.6 – Esquema exemplificativo de um provete ensaiado à flexão sob carga negativa (dimensões em mm)</i> .....	31
<i>Figura 4.7 – Preparação dos provetes: a) Provetes prontos a serem limpos ; b) Provetes já com a fita dupla-face colada</i> .....	34
<i>Figura 4.8 – Provetes imediatamente após a aplicação da cola: a) Provetes após aplicação da cola e descolagem da protecção da fita dupla-face ; b) Provetes prontos a serem colados</i> .....	35

---



---

<i>Figura 4.9 – Provetes para ensaio ao corte .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.10 – Preparação dos provetes: a) Perfis metálicos a serem limpos com um toalhete embebido em diluente b) Provetes já com a fita dupla face aplicada.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.11 – Colagem dos provetes: a) Provetes com fita dupla-face e cola aplicada b) Peça de ladrilho pronta a ser aplicada.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.12 – Equipamento Fitoterm 700GD23 .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.13 – Equipamento Solarbox 3000e RH .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4.14 – Fotografias relativas à máquina universal de ensaios: a) Máquina universal de ensaios Instron 5884 b) Computador de controlo da máquina universal de ensaios.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.15 – Esquema detalhado da montagem utilizada para o ensaio ao corte.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.16 – Acessórios usados nos ensaios sob flexão positiva: a) Acessório usado para o ensaio sob flexão positiva, visto de lado b) Ensaio sob flexão positiva já terminado .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.17 – a) Barras de apoio dos provetes no acessório esquematizado em b) Peça de formato em U para criar altura suficiente para o ensaio sob flexão negativa .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 4.18– Acessórios usados nos ensaios sob flexão negativa: a) Acessórios usados para o ensaio sob flexão negativa, vistos de lado b) Montagem já com o ensaio finalizado.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.1 - Esquematização de uma das possibilidades de fixação do painel cerâmico utilizando 2 apoios.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5.2 – Esquematização de uma das possibilidades de fixação do painel cerâmico utilizando 3 apoios.....</i>	<i>50</i>

## ÍNDICE DE QUADROS

<i>Quadro 4.1 – Tabela onde estão atribuídos os provetes a cada série de ensaios. ....</i>	<i>33</i>
<i>Quadro 4.2 – Ciclo gelo-degelo detalhado .....</i>	<i>37</i>
<i>Quadro 5.1 – Cargas médias de rotura obtidas através dos ensaios sob flexão positiva (N) .</i>	<i>44</i>
<i>Quadro 5.2 – Cargas médias de rotura obtidas através dos ensaios sob flexão negativa (N) .</i>	<i>44</i>
<i>Quadro 5.3 – Cargas médias de rotura obtidas através dos ensaios ao corte (N).....</i>	<i>46</i>
<i>Quadro 5.4 – Valores médios dos deslocamentos máximos obtidos através dos ensaios ao corte (mm) .....</i>	<i>46</i>
<i>Quadro 5.5 – Módulo de distorção x área/espessura (mm).....</i>	<i>47</i>
<i>Quadro 5.6 – Mosaicos com 1 vão (2 apoios).....</i>	<i>51</i>
<i>Quadro 5.7 – Mosaico com 2 vãos (3 apoios).....</i>	<i>51</i>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento ao tema

A evolução e o aperfeiçoamento dos edifícios constituem uma preocupação crescente na área da construção. Nos últimos anos, esta tentativa de inovar e melhorar a segurança e conforto das edificações tem sido notória, reflectindo-se no recurso a técnicas de construção com um maior grau de complexidade.

No âmbito do acabamento exterior dos edifícios, as soluções construtivas que mais têm sido sujeitas a evolução e valorização são as fachadas. De facto, a fachada é considerada a imagem do edifício e, como tal, assume uma posição de destaque na sua construção. Além disso, a fachada desempenha funções únicas de protecção do edifício ao garantir o isolamento térmico e acústico das instalações e ainda a segurança, o conforto e a privacidade dos moradores.

Estando continuamente exposta a diversos agentes externos, a fachada é sujeita a movimentos de contracção e dilatação, em virtude das acções higrótérmicas que sobre ela se fazem sentir. Entre os agentes agressores que contribuem para a degradação das superfícies externas dos edifícios destacam-se a humidade, as temperaturas extremas e a radiação.

Actualmente, as fachadas ventiladas são tidas como uma das soluções construtivas mais eficientes para revestimentos exteriores. Para além deste sistema constituir uma boa solução para o revestimento exterior de edifícios a nível térmico, alia a possibilidade de inovação em termos funcionais e estéticos. Deste modo, a aplicação de fachadas ventiladas constitui um avanço na concepção e construção de projectos, indo ao encontro das exigências da construção moderna.

A fachada ventilada é um sistema de revestimento e protecção dos edifícios cuja particularidade reside na existência de uma caixa-de-ar que resulta do espaço criado entre a parede do edifício e o revestimento exterior da fachada. Esta caixa-de-ar permite a ventilação da parede do edifício, de forma natural e contínua, através do denominado efeito de chaminé (em que o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior). Assim, são evitadas acumulações de humidade e condensações que determinam muitas vezes a ocorrência de

patologias. Esta solução é utilizada há muito tempo nos países nórdicos, estando agora a ser adoptada também nos países com influência mediterrânea.

Recentemente, a indústria cerâmica tem evoluído consideravelmente e têm surgido novos produtos no mercado ao mesmo tempo que os existentes têm vindo a ser melhorados. Destes, podemos destacar os produtos em grés porcelânico, hoje em dia dotados de características ímpares comparativamente ao que se poderia esperar há pouco mais de uma década. Tais características passam pela sua resistência substancialmente superior e espessuras reduzidas que lhes conferem um peso inferior possibilitando novas utilizações. Destes, pode destacar-se a sua aplicação como revestimento em fachadas ventiladas.

Este desenvolvimento técnico tem sido acompanhado paralelamente por uma indústria que tem desenvolvido sistemas de fixação e colagem, para responder às mais recentes e estritas exigências feitas pelos utilizadores e projectistas.

Por todas as razões acima enumeradas, vivemos actualmente um clima propício à criação de novas soluções até agora impossíveis, abrindo espaço a novos horizontes no campo das fachadas ventiladas. Um exemplo do que foi exposto anteriormente está patente na Fig. 1.1.



Figura 1.1 - Triumph Palace Moscow, edifício de 57 andares com 264,1m de altura construído com recurso a fachada ventilada com revestimento cerâmico (2003) (@Wikipedia - 2009 [1])

---

## 1.2 Objectivos do trabalho

De entre as soluções disponíveis, em termos de fachadas ventiladas, actualmente no mercado não é comum encontrar-se a colagem como processo de fixação de elementos cerâmicos à estrutura metálica que faz parte deste sistema. Com esquemas estruturais semelhantes aos utilizados para a montagem de um sistema de fachada ventilada de painéis finos, e com recurso a colas com características de resistência e durabilidade superiores, existem condições para que se equacione um sistema de fachada ventilada com recurso à colagem de elementos cerâmicos.

Estando a fachada de um edifício exposta às intempéries, esta, naturalmente, irá, com o passar do tempo, sofrer um desgaste acentuado, e eventualmente poderão surgir várias patologias sendo a mais relevante o descolamento ou mesmo a rotura da peça de ladrilho. Estas patologias são aquelas que podem determinar as consequências mais graves deste tipo de sistema e resultam das acções a que o ladrilho está exposto. Destas, destaca-se a acção do vento sobre a peça sob a forma de forças de pressão e de depressão e a acção do seu peso próprio. Com o intuito de quantificar quais as repercussões que estas acções causam numa solução deste tipo, um dos objectivos deste trabalho, consiste na avaliação destes sistemas em laboratório sujeitos a acções e sob diversas condições controladas de acondicionamento de provetes de forma a representar da maneira mais fiel e precisa, as acções reais a que estes sistemas estão sujeitos.

Com os resultados obtidos através da campanha de ensaios laboratoriais, tiram-se conclusões relativamente à acção da temperatura, associada a diferentes valores de humidade relativa, exposição solar e exposição à sujeição do sistema a ciclos de gelo/degelo. Refira-se que é considerado o tempo de exposição a estas acções de maneira a simular condições de envelhecimento do conjunto. Prevê-se ainda fazer uso dos resultados laboratoriais para avaliar a eficiência da solução de colagem utilizada, através de cálculos matemáticos, quer em termos de durabilidade, quer em termos da resistência do conjunto. A partir destes são tiradas conclusões que permitirão servir de base para indicar a recomendação de aplicação destes sistemas em obra.

Resumidamente, o presente trabalho tem como objectivo a avaliação da resistência à flexão e ao corte da colagem dos provetes para que seja possível quantificar a resistência e durabilidade de um sistema de fachada ventilada, que utiliza como solução de fixação a colagem de revestimentos cerâmicos em perfis metálicos após o condicionamento dos provetes em diferentes condições laboratoriais. A partir destes resultados, tirar-se-ão

conclusões relativamente à possibilidade deste conjunto fazer parte integrante de um sistema de fachada ventilada.

### **1.3 Metodologia adoptada**

A primeira fase deste trabalho assentou numa recolha bibliográfica relacionada com o tema em estudo através da consulta de artigos científicos, teses de mestrado e doutoramento bem como de outro tipos de publicações. A pesquisa baseou-se também em manuais, e/ou normas, nacionais e estrangeiras concebidos para a aplicação da colagem de ladrilhos cerâmicos em perfis metálicos e em fachadas ventiladas. Esta pesquisa permitiu concluir que não existem normas que tenham aplicação directa ao caso em estudo. Assim, surgiu necessidade de adaptar normas e documentação existentes ao sistema em análise.

Numa segunda fase, deu-se início à campanha de ensaios laboratoriais. Esta consistiu na preparação dos provetes, com o recurso à colagem dos ladrilhos cerâmicos aos perfis metálicos. Posteriormente estes provetes foram colocados em câmaras climáticas de maneira a simular condições ambientais específicas de modo a permitir o estudo do envelhecimento da colagem e as suas eventuais repercussões em termos da resistência e durabilidade do sistema. Por fim, os provetes foram ensaiados para permitir avaliar a sua resistência à flexão e corte, tendo-se sujeitado o sistema a diferentes períodos de condicionamento

A terceira fase da dissertação compreende a análise e interpretação dos resultados obtidos durante a campanha de ensaios, com o objectivo principal de analisar a viabilidade dos sistema e consequente elaboração de considerações de aplicação desta solução em obra.

### **1.4 Estrutura da tese**

A presente dissertação encontra-se estruturada em 6 capítulos. O capítulo 1 expõe uma introdução ao tema realçando a importância resultante da solução construtiva em estudo e a sua potencialidade como produto. São apresentados os principais objectivos do trabalho, a metodologia adoptada e a estrutura do documento.

No capítulo 2, identificam-se as principais características e variantes da solução construtiva do tipo fachada ventilada e, sobretudo, realça-se a aplicação de revestimentos cerâmicos em fachadas ventiladas. Neste capítulo, encontram-se descritas pormenorizadamente todas as

vantagens e desvantagens que este sistema apresenta, exemplos de aplicações, bem como toda a informação relevante directamente relacionada com o tema.

Relativamente ao capítulo 3, é feita uma descrição pormenorizada das propriedades relevantes do sistema de fachada ventilada em estudo, dando-se especial destaque aos ladrilhos em estudo (Revigrés Light), ao sistema de colagem (Simson Paneltak HM) e aos perfis metálicos utilizados (alumínio).

O capítulo 4 corresponde à campanha de ensaios laboratoriais. Neste capítulo são descritos os procedimentos e metodologias dos ensaios efectuados, sendo estes baseados em normas de referência para ensaios semelhantes. Haverá uma descrição do processo de preparação dos provetes e de todo o material e equipamento utilizado.

Seguidamente, no capítulo 5, são apresentados os resultados obtidos através da campanha de ensaios descrita no capítulo anterior. Através destes resultados foram efectuados cálculos de acordo com um dos regulamentos em vigor, para verificar a conformidade desta solução construtiva face às exigências funcionais exigidas num edifício.

Finalmente, no capítulo 6, e através da informação reunida nos capítulos anteriores, são tiradas conclusões relativamente à eficiência da solução em estudo. Também neste capítulo, são indicados possíveis trabalhos futuros.

## **2 FACHADAS VENTILADAS E UTILIZAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS**

### **2.1 Introdução**

O sistema de fachadas ventiladas foi desenvolvido com o intuito de proteger com maior eficácia os edifícios das intempéries, nomeadamente da chuva, do sol e do vento. Ao criar uma barreira física para o paramento exterior, as fachadas ventiladas evitam que a humidade, oriunda da chuva, se infiltre nas paredes do edifício ao mesmo tempo que minimiza a exposição directa destas mesmas paredes ao sol e ao vento, evitando que as transferências caloríficas se processem de uma forma demasiado rápida, mantendo um equilíbrio térmico mais eficiente do que uma parede directamente exposta às condições atmosféricas.

Outra das vantagens apresentadas pelas fachadas ventiladas é a possibilidade de reforço do isolamento acústico a sons aéreos. Esta solução revela ainda outra grande vantagem face a outro tipo de revestimento de paredes, que consiste em poder ser aplicada numa construção feita de raiz como numa reabilitação de um edifício já existente.

Dos inconvenientes a assinalar destaca-se o seu custo já que se compararmos as fachadas ventiladas com outro tipo de revestimento nomeadamente colado, será necessária mais mão-de-obra para a sua colocação e também implica que haja a implementação de um sistema de fixação eficiente.

### **2.2 Descrição e exigências funcionais**

Um sistema de fachada ventilada é montado do interior para o exterior. O paramento exterior do edifício, em alvenaria ou outro material, terá um revestimento térmico que se encontra solidarizado com este. Neste mesmo paramento estará fixa a estrutura metálica, idealmente dessolidarizada com a parede através de uma membrana isolante de maneira a evitar a criação de pontes térmicas, que suportará a camada exterior de revestimento. Entre estas duas camadas encontra-se uma caixa-de-ar que permite a ventilação natural do sistema [2].



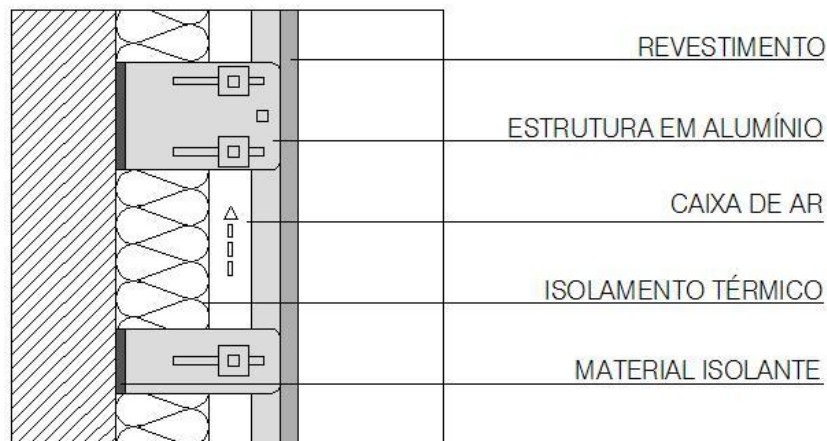


Figura 2.1- Esquema com os principais constituintes de uma fachada ventilada

### 2.2.1 Estanquidade

O revestimento exterior de uma fachada ventilada, ao estar afastado da superfície da parede do edifício, vai criar uma barreira natural à entrada da água da chuva e evitar que esta última entre em contacto directo com o paramento. A água escorrerá pelo exterior até ao chão ao mesmo tempo que as condensações eventualmente criadas no seu interior evaporarão devido à ventilação natural do sistema.

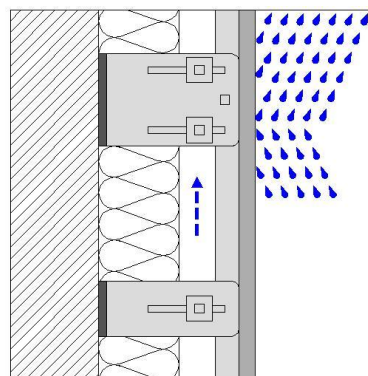


Figura 2.2- Esquema exemplificativo da estanquidade à água de uma fachada ventilada

### 2.2.2 Conforto higrotérmico

Relativamente à eficiência térmica, as fachadas ventiladas reduzem largamente a quantidade de energia que os edifícios absorvem directamente da exposição solar. Este fenómeno ocorre já que parte da radiação solar ao incidir no revestimento exterior é reflectida ou absorvida

pelo revestimento da fachada, ao mesmo tempo que o espaço entre o isolamento térmico e a fachada propriamente dita, que é constituído por uma caixa-de-ar, permite que o ar circule e promova o arrefecimento do conjunto.

Ao diminuir-se a superfície de contacto do paramento exterior do edifício aos elementos e a utilização de materiais para o revestimento exterior da fachada com baixa condutibilidade térmica, fará com que a existência de pontes térmicas seja amplamente reduzida. Este tipo de solução, ao permitir a aplicação de isolamento térmico pelo exterior, revestindo toda a envolvente opaca, permite reduzir as perdas térmicas nas zonas de ponte térmica, favorecendo o comportamento térmico, e consequentemente, o desempenho energético do edifício, nomeadamente de acordo com a metodologia de cálculo definida no RCCTE [3]. A caixa-de-ar criada pelo sistema favorece também o comportamento térmico, uma vez que permite uma redução das trocas de calor entre a superfície do paramento e da envolvente.

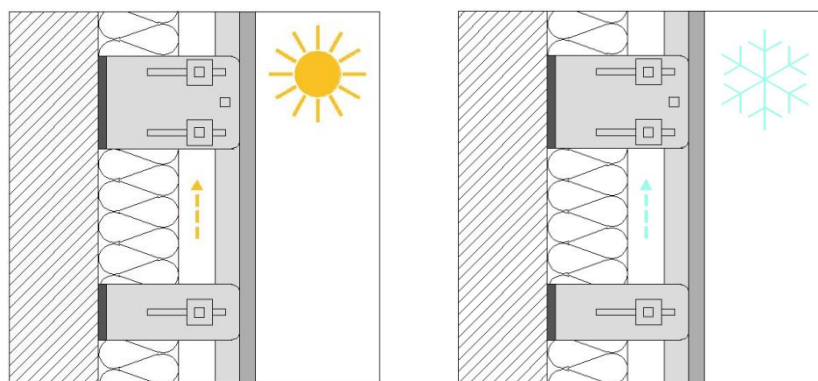


Figura 2.3 –Esquemas exemplificativos da capacidade de isolamento térmico para temperaturas extremas

A circulação de ar no interior desta caixa-de-ar ocorre devido ao gradiente de temperatura no seu interior, comumente denominado “efeito chaminé”. Este fenómeno deve-se ao facto de o ar menos denso (quente) ter tendência a subir e o ar mais denso (frio) a descer. O “efeito chaminé” ao promover a circulação de ar faz com que o vapor de água que migrou através da parede a partir do interior seja removido naturalmente sem afectar o aspecto exterior do revestimento. Uma das grandes vantagens deste fenómeno prende-se pelo facto desta humidade não ficar impregnada no isolamento do paramento, evitando a sua deterioração e aumentando a sua longevidade.

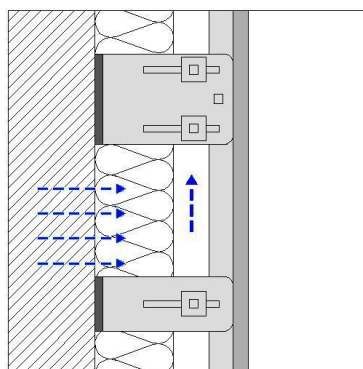


Figura 2.4 - Esquema exemplificativo da capacidade de evaporação de água pela caixa-de-ar

### 2.2.3 Conforto acústico

As fachadas ventiladas poderão ser também consideradas como uma barreira acústica. As ondas sonoras ao incidirem no edifício são deflectidas pela parte exterior da fachada, e parte das vibrações que eventualmente daí advêm são parcialmente dissipadas na caixa-de-ar.

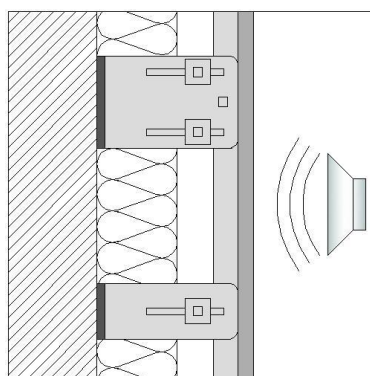


Figura 2.5 - Esquema exemplificativo da estanquidade à água de uma fachada ventilada

### 2.2.4 Estabilidade e segurança ao uso

A estabilidade e a segurança ao uso traduzem-se na garantia de estabilidade do sistema quando sujeito às acções correntes (peso próprio, vento, etc.). Esta estabilidade confere segurança ao uso do sistema no que diz respeito à protecção dos utilizadores.

### 2.2.5 Protecção contra incêndios

Por fim, mas não menos importante, os materiais constituintes do revestimento exterior das fachadas ventiladas são ignífugos. Este facto permite que se garanta segurança contra risco de incêndio.

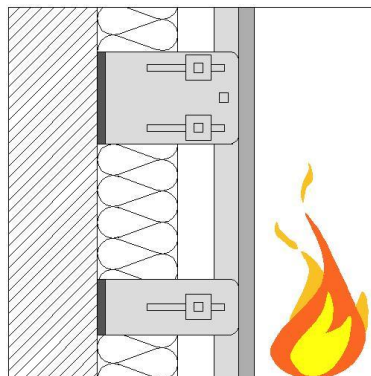


Figura 2.6 - Esquema exemplificativo das capacidades ignífugas do revestimento de uma fachada ventilada

### 2.2.6 Considerações gerais

Justamente devido a todas estas características acima mencionadas, que ao fim ao cabo são vantagens face a uma solução convencional, os sistemas de fachada ventilada têm tido reconhecimento no mundo da construção. Cada vez mais aparecem soluções tecnicamente mais elaboradas e eficientes capazes de satisfazer as necessidades e exigências estéticas e técnicas de grande parte dos edifícios a construir ou até mesmo em obras de reabilitação de edifícios existentes.

### 2.3 Acções aplicadas a fachadas ventiladas

Neste estudo teve-se especial atenção às acções a que uma fachada ventilada está sujeita. Uma vez que este tipo de solução construtiva está sujeita às mesmas acções aplicadas em fachadas de edifícios, tomou-se como referência um estudo previamente elaborado. Este estudo realizado por Vicente [4] explicita claramente que as acções a que uma fachada está sujeita são:

- Cargas Verticais (peso próprio, sobrecargas, cargas concentradas e localizadas);
- Vento (pressões e depressões);
- Sismos (cargas cíclicas alternadas);

- Variação da temperatura e humidade;
- Outras acções específicas ou devido a causas fortuitas;

### **2.3.1 Acções verticais**

Dentro das acções verticais apenas se considera o peso próprio da peça de ladrilho excluindo qualquer outra acção introduzida pelo seu suporte.

### **2.3.2 Acções devidas ao vento**

As acções do vento, que actuam no plano perpendicular à parede, podem ser distinguidas em dois tipos distintos: pressão e depressão. Na primeira situação considera-se a incidência directa do vento sobre a peça, na segunda será tida em conta a acção que o ar, neste caso a sua ausência (vácuo), exerce sobre a peça. Ambos os tipos de acções geram sobre este sistema forças de flexão. Pode-se ainda considerar a acção do vento segundo a direcção paralela à parede, sendo que, neste caso, este tipo de acção gerará forças de corte negligenciáveis.

### **2.3.3 Acções devidas à humidade e/ou temperatura**

As acções devido à humidade e temperatura resultam em tensões variáveis com as características termo-higrométricas dos elementos constituintes da fachada, nomeadamente a estrutura de suporte e o revestimento cerâmico. No caso do revestimento cerâmico, a exposição à humidade pode fazer com que este absorva quantidades tais de água que façam com que o seu peso aumente de tal forma que ponha em causa a sua fixação à estrutura metálica. Também no caso de a peça estar exposta a temperaturas negativas, a formação de gelo por parte da humidade eventualmente absorvida poderá causar a fractura da peça como consequência da expansão da água. Relativamente à temperatura, o revestimento pode, ao estar sujeito a este elemento, sofrer variações dimensionais de tal ordem que provoquem fractura na peça e causem o seu desprendimento. Vicente [4] considera que poderá haver uma variação de temperatura, em relação à temperatura de construção de  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $+40^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.4 Acções devidas a sismos ou causas fortuitas

As acções devido a sismos ou outras causas fortuitas não são consideradas neste trabalho.

## 2.4 Tipos de fixação de elementos cerâmicos em fachadas ventiladas em comercialização

### 2.4.1 Grampos face-à-vista

As fachadas ventiladas que recorrem a esta solução técnica permitem uma maior escolha entre os elementos cerâmicos disponíveis no mercado. Esta vantagem resulta de uma fixação bastante sólida e eficiente entre as peças cerâmicas e a estrutura de suporte, já que tal como o nome indica, a solução contempla a utilização de grampos. Este mesmo facto está patente na construção de um dos edifícios mais altos de Moscovo. Outra das vantagens é a possibilidade de colocação de juntas desencontradas para evitar a entrada de água da chuva [1, 5].



Figura 2.7 – Exemplos de montagem de uma fachada ventilada com recurso à solução de grampos face-à-vista (Construlink - @2009 [6] )

Uma desvantagem óbvia é a não ocultação destes mesmos grampos, causando impacto visual sendo este, na maioria dos casos indesejável.

### 2.4.2 Grampos ocultos

Esta solução é bastante semelhante à anterior, mas neste caso os grampos são ocultados pela peça. Para tal o formato da peça “esconde” os grampos ou então a peça é fabricada com saliências nos topos ou nas laterais que permitem o encaixe do sistema de fixação. Tem como vantagem ocultar a fixação dando à parede um acabamento “limpo” mas tem como desvantagem, nalguns casos, ser necessário proceder à modificação da peça de maneira a criar encaixes, o que a pode fragilizar, com todas as desvantagens daí inerentes.

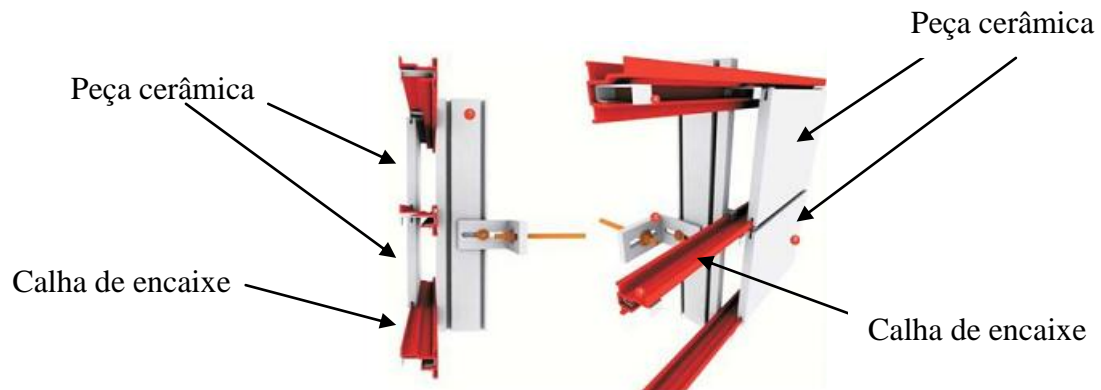


Figura 2.8 – Exemplo de montagem de uma fachada ventilada com recurso à solução de grampos ocultos (adaptado de Construlink - @2009 [6])

### 2.4.3 Recurso a expansores

Outro tipo de fixação menos utilizada para fixar peças de revestimento cerâmico à estrutura de alumínio é o expansor. Através de um furo no tardo da peça, é colocado um expansor que, depois de um primeiro aperto, se fixa a esta. A parte que sobressai poderá também ter rosca, ou encaixe para posterior fixação à estrutura de alumínio [2].

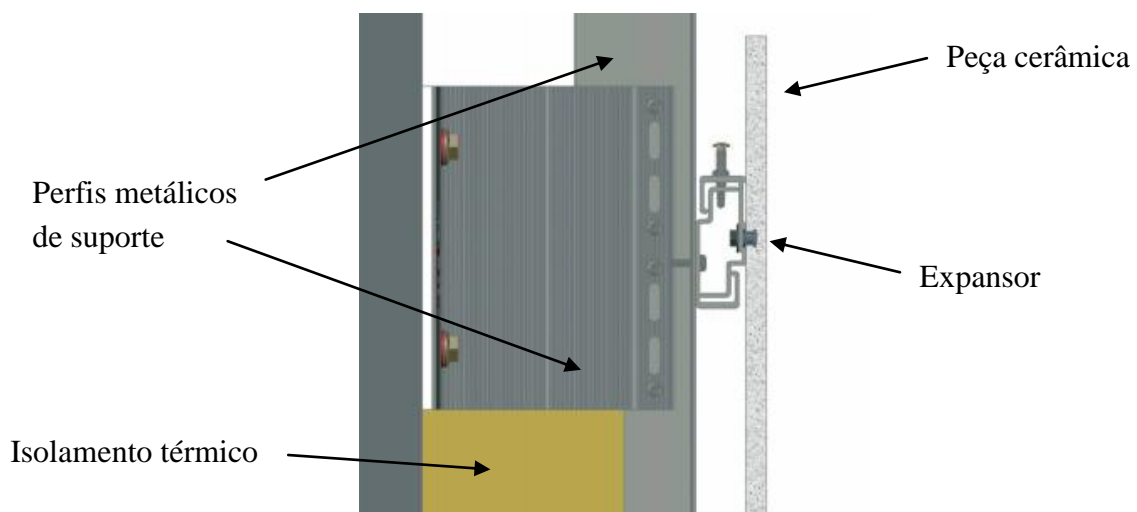


Figura 2.9 – Exemplo de montagem de uma fachada ventilada com recurso a expansores (adaptado de EuroFOX - @2009 [5])

Este tipo de fixação, tem a desvantagem de recorrer a alteração da constituição original do tardo da peça o que inevitavelmente a irá fragilizar, reduzindo assim a sua durabilidade, bem como a exigência de uma elevada mão-de-obra para este efeito e, por fim, o desperdício de material tendo em conta que se está a trabalhar com um material bastante sensível a furos.

#### 2.4.4 Recurso a colas

Durante a pesquisa efectuada para este trabalho, não foi encontrada informação relativamente ao uso desta solução. Este modelo de fixação de elementos cerâmicos terá especial atenção no capítulo seguinte do presente trabalho.

### 2.5 Elementos cerâmicos em comercialização para aplicação em fachadas ventiladas

#### 2.5.1 Fabrico por extrusão

Este tipo de peças cerâmicas é fabricado com o recurso a uma tecnologia semelhante à da alvenaria comum. O tipo de mistura usada varia consoante o fim para o qual a peça irá ser utilizada. Tem como vantagem a inclusão de rasgos ou fendas que poderão ser usados para a sua fixação de uma maneira oculta. Como desvantagem conta com a necessidade de ter uma



maior espessura face a peças de fabrico comum de modo a incluir estes mesmos rasgos. Consequentemente, surgem preocupações acrescidas devido ao seu peso, limitações em termos de geometria e um elevado coeficiente de absorção de água comparativamente ao grés porcelânico [7].

### **2.5.2 Grés porcelânico**

Em algumas montagens do sistema de fachadas ventiladas, poderão usar-se peças de porcelanato cerâmico. Uma das propriedades deste material é o seu baixo coeficiente de absorção de água, o que permite, no caso destas peças estarem expostas à água, evitar problemas decorrentes do seu aumento de peso, bem como, no caso de se registarem temperaturas negativas, a acção do gelo ser desprezável. Outra grande vantagem que advém deste tipo de peças é o facto de serem fabricadas em massa para outro tipo de finalidades, o que contribui para terem um preço bastante inferior a outros tipos de revestimento de fachadas. Pelas razões mencionadas, esta solução possui uma elevada panóplia de acabamentos e configurações estéticas, tendo apenas como desvantagem a sua grande espessura, de aproximadamente 11 mm, aliada a um grande peso por área de construção [8-10].

### **2.5.3 Grés porcelânico maquinado**

Esta solução é em tudo semelhante à anterior com a diferença do método de fixação. O processo de fabrico inclui uma passagem por um dispositivo de maquinação, que abre no tardo da peça um rasgo. Este último permitirá que se utilize um perfil metálico através deste mesmo rasgo, criando um encaixe e ocultando assim a sua fixação ao paramento. Tem como desvantagem o seu custo acrescido face à solução sem recurso à maquinação, a fragilidade acrescida desta maquinação, para além do peso por área descrito anteriormente. Como vantagem tem a capacidade de se sobreporem peças e evitar a entrada de água e em caso de rotura da peça o seu desprendimento será evitado pelos elementos de fixação. [10].

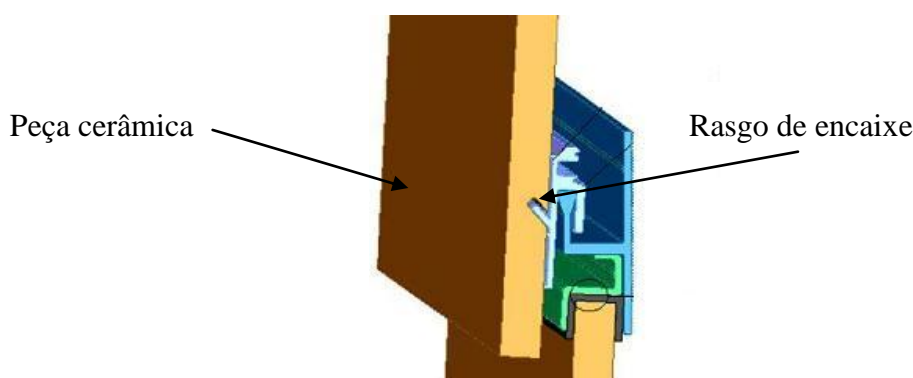


Figura 2.10 – Exemplo de uma peça de grés porcelânico maquinada e a sua possível aplicação a uma fachada ventilada (adaptado de Aleluia - @2009 [10])

#### 2.5.4 Grés porcelânico de espessura reduzida

Este tipo de elementos cerâmicos faz parte de uma nova geração de produtos. Com a mesma aparência do grés porcelânico técnico de espessura comum, tem a grande vantagem de ter aliado à sua espessura reduzida de aproximadamente 6mm, um peso associado por metro quadrado bastante inferior ao grés porcelânico utilizado em fachadas ventiladas. Esta característica permite equiparar este produto a outros tipos de materiais de revestimentos finos [8]. Este tipo de revestimento terá especial atenção no capítulo 3 do presente trabalho.

#### 2.5.5 Lâmina cerâmica

O produto em questão distingue-se dos restantes apresentados anteriormente devido ao seu processo de fabrico pouco comum na indústria cerâmica, que é a prensagem com recurso a rolos. Tem uma espessura de 3mm, o que por si só não confere a resistência suficiente para a aplicação directa num sistema de fachada ventilada. Para colmatar esta desvantagem pode utilizar-se uma rede de reforço de fibra de vidro ou fazer uma colagem dupla, um painel por cima de outro, o que obviamente irá encarecer o conjunto/aplicação. Outra desvantagem que advém da sua reduzida espessura resulta da exigência de cuidados adicionais de manuseamento por parte do aplicador. A vantagem clara face aos restantes é o seu reduzido peso face à sua espessura [9].

#### 2.5.6 Impressão personalizada

Outro tipo de fachada ventilada em cerâmica é a fachada ventilada produzida com recurso à serigrafia. As peças são executadas recorrendo à extrusão e têm a vantagem de permitir a impressão personalizada [11].

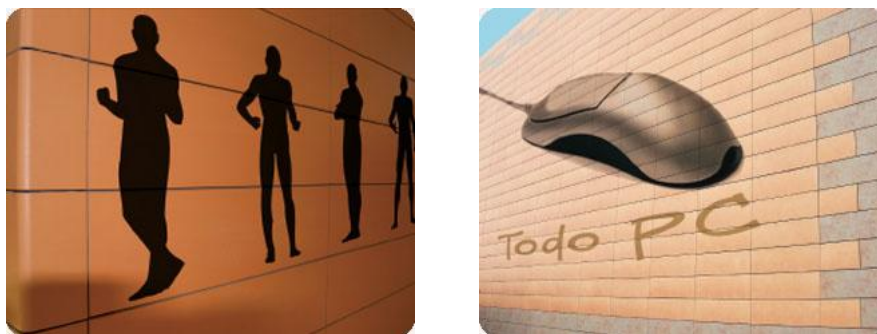


Figura 2.11—Exemplo de dois acabamentos diferentes personalizados  
(Favemanc - @2009 [11])

## **3 FIXAÇÃO DE ELEMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS VENTILADAS POR COLAGEM**

### **3.1 Introdução**

No presente capítulo pretende-se descrever pormenorizadamente o sistema de fachada ventilada cuja fixação é efectuada com recurso à colagem. Este sistema é composto por duas partes: uma estrutura metálica solidarizada com o paramento e o seu revestimento. O material utilizado para a fabricação desta estrutura metálica é o alumínio, enquanto que o revestimento é composto por peças de porcelanato técnico de reduzida espessura. Ao longo deste capítulo, ambos irão ser caracterizados pelas suas capacidades técnicas e funcionais de maior relevo.

### **3.2 Sistema de fixação da fachada ao edifício**

Apesar do mercado dos sistemas de fixação de revestimentos para fachadas ventiladas ser bastante amplo com uma grande oferta de tipos, marcas e modelos, tema desenvolvido no capítulo 2, existe um conjunto de elementos que é comum à maioria destes. Estes obedecem a uma lógica estrutural, que maximiza a capacidade resistente do conjunto, minimiza o seu peso e têm sempre como objectivo a simplicidade de aplicação em obra.

São, na sua maioria, compostos por um perfil de metal em T, colocado verticalmente no paramento exterior do edifício, com um espaçamento que depende das dimensões da peça. Para que este perfil esteja perfeitamente solidarizado ao paramento é previamente encaixado em suportes de alumínio em L que estão fixos à parede através de parafusos e buchas metálicas, tal pode ser exemplificado na figura seguinte. Nos cantos e nas extremidades das paredes estes perfis poderão, eventualmente, ter metade do tamanho e/ou outro tipo de forma em relação aos colocados a meio vão, para permitir rematar a montagem.

A estrutura metálica será à partida de alumínio devido às suas características duradouras e leveza associada. Entre os perfis metálicos e o paramento deverá haver um isolante térmico

para evitar que se crie uma ponte térmica ao longo deste, devido à sua elevada condutibilidade térmica.

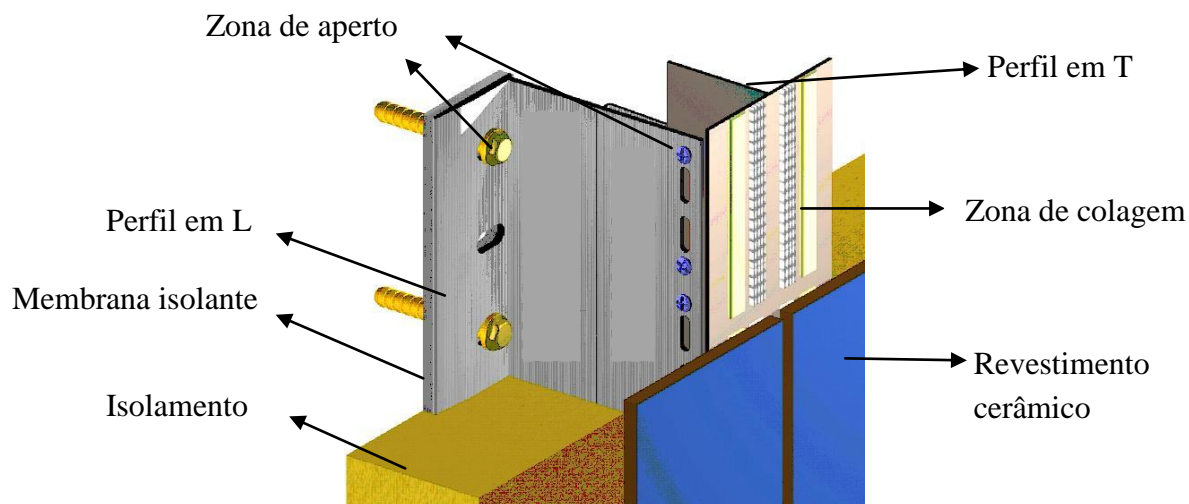


Figura 3.1 – Esquema representativo de um sistema tipo de fixação paramento/painéis cerâmicos  
(adaptado de EuroFOX - @2009 [5])

### 3.3 Ladrilho cerâmico

O ladrilho cerâmico usado no presente caso de estudo pertence ao grupo dos produtos cerâmicos de grés porcelânico técnico. Fabricado pela Revigrés, tem como denominação comercial Revigrés Light, cuja principal característica é a sua reduzida espessura de (6mm) aliada a um reduzido peso por área de construção. Este produto é comercializado com as seguintes medidas: 60x120 cm<sup>2</sup>, 45x90 cm<sup>2</sup>, 60x60 cm<sup>2</sup>, 30x60 cm<sup>2</sup>. Como parte integrante da sua ficha técnica, pode-se constatar que cumpre várias normas aplicadas a este tipo de produtos, nomeadamente: ISO 10545-2, ISO 10545-3, ISO 10545-4, ISO 10545-7, ISO 10545-8, ISO 10545-12, ISO 10545-13 e ISO 10545-14 [12].

A reduzida espessura, de apenas 6 mm, revela-se extremamente vantajosa em termos construtivos na medida em que por cada m<sup>2</sup> de construção, a massa do material faz com que a carga exercida seja sensivelmente metade do valor que exerceria no caso de um produto com espessura convencional, sendo que esta é de apenas 12,5 kg/m<sup>2</sup> [12]. Este facto torna este produto hipoteticamente apto a ser utilizado num sistema de fachada ventilada.

### 3.3.1 Processo de fabrico

O processo de fabrico deste produto é em tudo semelhante ao de revestimentos em grés porcelânico comum, com excepção da formulação utilizada. As diferenças a assinalar são a elevada resistência em seco, fruto de uma mistura de matérias-primas diferente de um produto normal. Outra propriedade que o distingue dos demais é a sua reduzida piroplasticidade, ou seja, pouca deformabilidade a altas temperaturas. Este factor é de extrema importância para um rigoroso controlo de qualidade.

O referido processo é feito através de uma linha de fabrico contínua, desde a recepção e tratamento da matéria-prima, (argilas, feldspatos e areias) até ao embalamento e aprovisionamento do produto em armazém pronto a ser expedido. Num primeiro passo, as argilas, feldspatos e areias são recepcionados em locais para este fim, separados e catalogados consoante o seu tipo, de modo a proceder, de seguida, ao seu armazenamento em tulhas. A figura seguinte ilustra a zona de recepção e de armazenamento das matérias-primas em tulhas.



Figura 3.2- Recepção e armazenamento das matérias-primas:  
a) Zona de recolha de matérias-primas; b) Tulhas de armazenamento

O segundo passo consiste em transferir estas matérias-primas para silos. Posteriormente são doseadas consoante o tipo de formulação pretendida e introduzidas num moinho. Neste, é acrescentada água e alguns aditivos para tornar a moagem mais eficiente. Esta moagem é feita com o intuito de reduzir e uniformizar a granulometria do conjunto. Passo necessário para que haja uma maior e mais uniforme exposição dos materiais numa posterior fase de cozedura. A água utilizada neste processo será posteriormente eliminada na etapa de atomização.



Figura 3.3 – Armazenamento e moagem de matérias-primas:  
a) Silos de armazenamento de matérias –primas; b) Cilindro de moagem

A esta pasta poder-se-ão juntar aditivos, com o intuito de conferir à mistura determinadas características de aparência final, tais como diversos tipos de tonalidade, e eventualmente, textura. Posteriormente esta pasta é crivada, para retirar algum constituinte que não tenha sido correctamente moído, e conduzida através de tubagens até poços subterrâneos de armazenamento temporário.



Figura 3.4 – Transporte da pasta:  
a) Pasta em transporte ; b) Tubagens destinadas a conduzir a pasta

Posteriormente, a pasta é direccionada, através destas tubagens, até um atomizador onde é aspergida a alta pressão contra uma coluna de ar quente onde a água evapora, transformando-se esta suspensão em pó, para, posteriormente, ser utilizado na prensa.



Figura 3.5 – Etapa de atomização e armazenamento do pó:  
a) Atomizador b) Silos de armazenamento de pó

O pó é colocado em silos de armazenamento intermédios onde, através de um rigoroso controlo informático, é permitido ao operador manter o controlo das quantidades em stock de cada mistura destinada a cada tipo de produto. Estes silos são transportados através de um sistema mecânico e automático, controlado remotamente para a zona de armazenamento ou directamente para zona de alimentação das prensas hidráulicas.

As prensas hidráulicas têm como finalidade compactar o pó anteriormente obtido de acordo com as dimensões e formatos do produto final, tendo estas uma capacidade de prensagem até  $450\text{kgf/cm}^2$ . O produto desta prensa, a que se pode já chamar ladrilho cru, é passado por um secador a temperaturas entre os  $100$  e  $150^\circ\text{C}$ , com o objectivo de perder toda a água que possa conter de forma a permitir a eficaz cozedura e facilidade de trabalho nas linhas de esmaltação (serigrafia).



Figura 3.6 – Prensagem e secagem dos ladrilhos:  
a) Prensa hidráulica ; b) Secador



Numa fase seguinte, é feita a decoração (vidrados e serigrafias), se a configuração das peças assim o exigir. Posteriormente, são colocadas em vagonas onde ficam em fase de espera. A fase de cozedura inicia-se com a transferência dos ladrilhos crus para os rolos do forno, onde são cozidas mediante exposição ao calor em diferentes fases. Este forno pode ser programado consoante o produto a produzir. Dado que tem uma grande extensão, de cerca de 125m, seccionado, onde a cada uma destas secções pode ser atribuída uma intensidade calorífica diferente, criando uma curva de cozedura variável. Este processo dura 45 a 60 minutos e as peças são expostas a temperaturas que podem atingir os 1200°C.



Figura 3.7 - Transporte e cozedura das peças cerâmicas:  
a) Passadeira de transporte ; b) Forno de cozedura

A finalizar esta linha de fabrico, as peças cerâmicas são escolhidas de acordo com as suas dimensões e defeitos visuais e classificadas como primeira escolha, segunda escolha ou refugo e, posteriormente, embalados.



Figura 3.8 – Embalamento e armazenagem do produto final:  
a) Dispositivo de embalamento ; b) Armazenamento do produto final

### 3.4 Sistema de colagem

A solução utilizada para solidarizar a peça de ladrilho cerâmico aos perfis de alumínio tem como designação comercial Simson Paneltak HM. É um tipo de cola, (mástique), baseada num polímero Silyl, modificado. Devido às suas características, este tipo de cola deverá ser aplicado só em algumas condições ambientais tal como está descrito no manual de aplicação para que haja formação de presa e cumpra os objectivos de resistência para os quais foi fabricada [13]:

- Não efectuar o pré-tratamento ou a colagem se estiver a chover;
- Não efectuar o pré-tratamento ou a colagem na presença de um ambiente muito húmido (por ex: nevoeiro);
- Não aplicar sobre superfícies molhadas ou húmidas;
- Aplicar entre os +5 e +30 °C;

Na aplicação desta solução deverão efectuar-se os seguintes quatro passos:

- Limpeza do perfil com o produto Simsom Primário Paneltak;
- Limpeza do tardo de da peça de ladrilho com o mesmo produto utilizado no passo anterior;
- Colocação de uma fita-cola de dupla face nas extremidades dos perfis de alumínio;
- Colocação do mástique no perfil Paneltak HM;

A primeira etapa tem como objectivo a limpeza de gorduras e outros materiais contaminantes que sejam resultantes do fabrico ou colocação em obra, bem como a deposição de uma camada aderente constituída por um polímero através da evaporação do produto. Para tal o perfil de alumínio e o tardo de da peça de ladrilho devem ser limpos com o produto Simson Primário Paneltack. Deve dar-se um tempo de actuação de 10 minutos para permitir a secagem do produto. Este deve ser colocado à razão de 500 ml/m<sup>2</sup>.

Após a secagem do primário deverá colocar-se a fita-cola dupla face, Simson FoamTape, tendo esta fita dupla finalidade. Numa primeira fase, e antes que o mástique ganhe presa, garantir que a peça de revestimento fique temporariamente fixa, numa segunda fase proteger este mesmo mástique da exposição aos elementos, criando uma barreira protectora. O primeiro passo será desenrolá-la, expondo uma das faces com cola que deve ser colocada no extremo do perfil de alumínio. Assim, deverá ser colocada segundo o eixo longitudinal do

perfil e deverá ter o mesmo comprimento que este. Após esta primeira passagem deve ser cortada à medida do perfil.

Por fim, deve ser colocado o mástique Paneltack HM. Este deverá ser colocado através de uma pistola adequada a receber cartuchos maleáveis, e deve ser utilizado o bico em V fornecido com cada um destes. Este bico permitirá que a deposição da cola seja satisfatoriamente uniforme, em V, facilitando a tarefa por parte do utilizador que terá de cumprir com a altura de 9 mm exigida no manual de aplicação. Ao ser aplicada em V, e imediatamente após a colocação do revestimento, a cola irá espalhar-se de uma maneira mais eficiente do que no caso de ser aplicada com uma ponteira de orifício circular. Este pormenor é bastante importante visto que a altura de cola terá de, pelo menos, ser igual à altura criada pela fita-cola dupla face. A aplicação deverá sempre ser feita na parte interior do perfil metálico para permitir que a fita-cola de dupla face proteja o mástique da acção climatérica.

Tendo o utilizador cumprido os passos atrás mencionados, estará na altura de descolar a fita protectora da fita-cola dupla face expondo o adesivo. A peça deverá ser colocada com o auxílio de um maço de borracha.

Há que notar que esta solução comercial foi adoptada para este caso, por recomendação directa do fabricante. Existem outras soluções comerciais semelhantes, cuja metodologia de colocação e exigências técnicas são em tudo semelhantes às acima descritas [14, 15].

## **4 CAMPANHA DE ENSAIOS**

### **4.1 Introdução**

Foi desenvolvida uma campanha de ensaios com o objectivo de avaliar a resistência ao corte e flexão das peças de ladrilho cerâmico, coladas em perfis metálicos, descritas no capítulo anterior, expostas a diferentes condições de cura (humidade, temperatura, acção gelo/degelo e envelhecimento por radiação solar). Foram sujeitas a estas condições com o intuito de replicar as acções possíveis aplicadas ao conjunto, bem como a exposição às várias condições climáticas que a fachada de um edifício terá que suportar durante o seu período de vida.

O objectivo destes ensaios será obter resultados para que, posteriormente, através da sua interpretação e cálculos se possam tirar conclusões relativamente à capacidade do conjunto, perfis metálicos e ladrilhos cerâmicos, para desempenhar o papel de revestimento em sistemas de fachadas ventiladas, com as características descritas também no capítulo anterior.

### **4.2 Metodologia experimental**

#### **4.2.1 Conceitos**

A inexistência de orientações técnicas de apoio à avaliação de resistência da colagem de ladrilhos cerâmicos em perfis metálicos abre perspectivas de investigação nesta matéria e, tendo em conta este pressuposto, optou-se por, sempre que possível, adaptar as normas existentes para fins semelhantes a esta realidade.

Numa primeira abordagem aos pontos fortes e fracos do conjunto, considerou-se como virtualmente inexistente qualquer tipo de deformação ou outro tipo de variável por parte da estrutura metálica de suporte do ladrilho, tentando assim eliminar-se qualquer tipo de influência que este pudesse ter no estudo da colagem das peças.

Com o intuito de avaliar a acção do vento sobre as peças, consideraram-se dois tipos de forças aplicadas ao revestimento. Numa primeira fase e considerando exclusivamente a acção do vento, quando este incide sobre um edifício cria uma pressão positiva na fachada em que incide e uma depressão na fachada oposta e paredes laterais. Laboratorialmente, e para simplificar o modelo de ensaio, considerou-se que esta actua no tardo da peça, com sentido de dentro para fora. Numa segunda fase, irão ser consideradas as forças causadas pelo peso próprio da peça, forças estas que são paralelas à superfície de colagem que fixa a peça ao perfil metálico. Em laboratório, para replicar estas forças, optou-se por avaliar a resistência ao corte do conjunto peça/perfil.

#### 4.2.2 Escolha de provetes

Por razões de boas práticas laboratoriais que se prendem por uma uniformização de condições e metodologias de ensaio, a escolha, tanto das dimensões dos provetes, como do equipamento de ensaio, resulta de um processo de estudo e de ensaios prévios.

##### 4.2.2.1 Ensaio ao corte

Para o estudo da resistência ao corte da colagem das peças, e tal como já foi dito anteriormente, houve uma clara falta de normas aplicáveis a este caso. Assim sendo, optou-se por adaptar as normas existentes aplicáveis a casos semelhantes nomeadamente, a avaliação da resistência ao corte de ladrilhos cerâmicos, recorrendo a outros tipos de fixação. Esta norma, NP EN 12003 – 2007, implica a utilização de uma peça que garanta a seguinte disposição do provete, limitando a geometria e dimensões deste, a 15cm x 15cm [16].

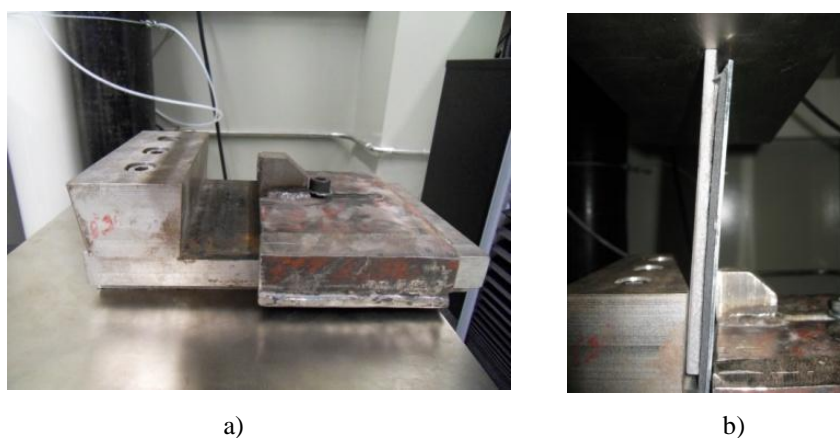


Figura 4.1 – Ensaio dos provetes ao corte:  
a) Acessório para o ensaio ao corte ; b) Provede montado neste acessório

Optou-se por adaptar a norma NP EN 12003 – 2007 para as condições de aplicação deste caso de estudo. Ignorou-se a exigência por parte da norma de proceder à colagem através de cinco pontos e considerou-se uma situação mais realista em que se aplica a cola conjuntamente com a fita dupla face. Manteve-se o desfasamento de 10 mm entre o ladrilho e chapa metálica onde este assenta.

Relativamente à chapa metálica, onde o provete deverá estar colado, esta respeita as características da estrutura metálica tipo, descrita no capítulo 3, ou seja, é de alumínio, lisa e a sua deformação deverá ser tão pequena que possa ser desprezada. Nos ensaios preliminares optou-se por utilizar diferentes espessuras de chapa de alumínio liso, com 3, 6 e 9 mm. A verificação da planeza, antes e após estes ensaios, foi efectuada com o recurso a uma régua biselada e a um “apalpa folgas”. Esta régua foi colocada nas duas diagonais da peça para verificar se existia alguma folga. Constatou-se que não havia qualquer folga ou empeno, concluindo-se que a chapa de alumínio de 3mm seria suficiente para os ensaios a realizar.



Figura 4.2 – Instrumentos utilizados para confirmar a não existência de empenos na chapa de alumínio:  
a) Régua biselada e “apalpa-folgas” ; b) Verificação da planeza

O esquema de colagem do provete encontra-se ilustrado na figura seguinte:

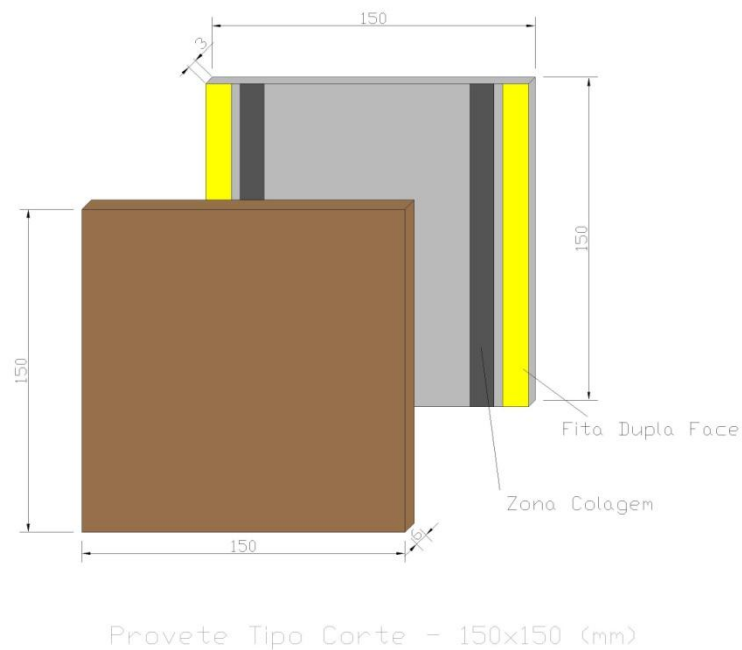


Figura 4.3 – Esquema exemplificativo de um provete a ensaiar ao corte (dimensões em mm)

#### 4.2.2.2 Ensaio sob carga positiva

Para este caso concreto, adoptou-se a metodologia semelhante à utilizada na avaliação da resistência à flexão de provetes de betão, norma NP EN 12390 - 5. Esta norma prevê um tipo de ensaio em que se aplicam dois pontos de força sobre o provete a ser ensaiado o que permite que haja uma zona de momento flector e esforço transversal constante [17].

Idealmente, ter-se-ia usado provetes de tamanho real mas, face aos limites dimensionais do equipamento, adoptou-se como medida para os provetes, 33,5cm x 15cm, tal como está esquematizado na figura 4.4. Por dificuldade de se encontrar no mercado perfis com 55mm de largura, conforme o preconizado no manual de aplicação da cola, foram utilizados perfis com secção 50x50 mm<sup>2</sup> e com 1.5 mm de espessura.

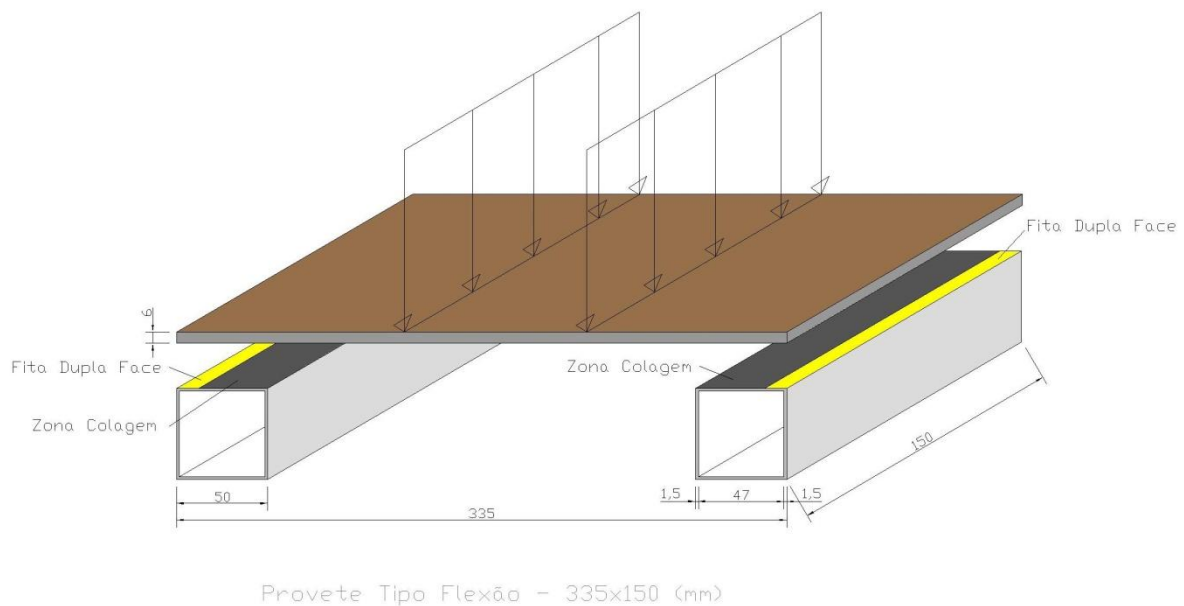


Figura 4.4 – Esquema exemplificativo de um provete a ensaiar à flexão (dimensões em mm)

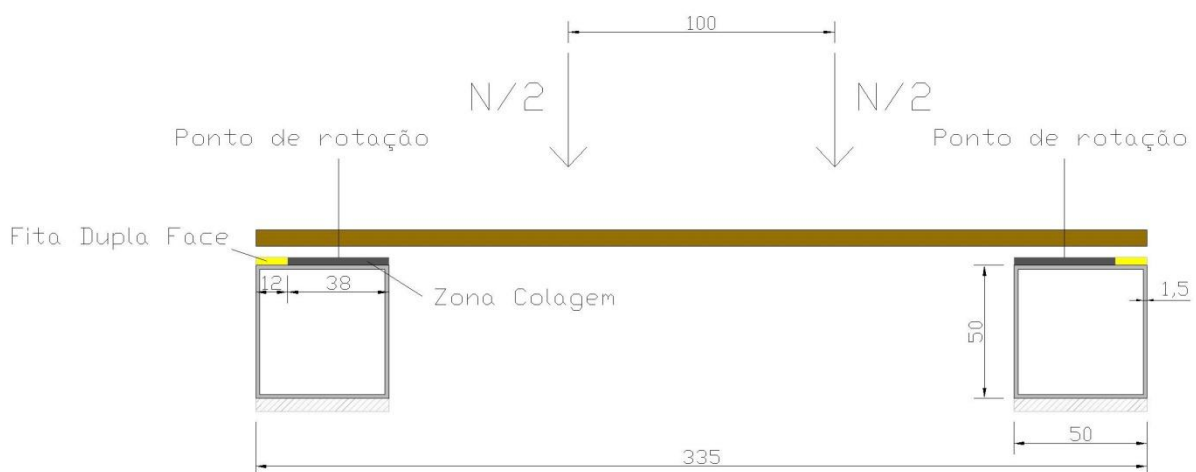


Figura 4.5 - Esquema exemplificativo de um provete ensaiado à flexão sob carga positiva (dimensões em mm)

Ajustaram-se os pontos de força para cumprir o espaçamento de 10 cm e, por fim, para auxiliar o posicionamento dos provetes, foi utilizado um acessório com duas guias. Nos ensaios preliminares constatou-se que o peso próprio do acessório que descarrega a força sobre o provete teria de ser adicionado à carga registada pela máquina de ensaios universal, para evitar contabilizar mais uma variável experimental, que pudesse afectar negativamente



os resultados dos ensaios, utilizaram-se dois grampos comuns que solidarizam esta peça com seu o prato superior.

#### 4.2.2.3 Ensaio sob carga negativa

Na tentativa de uma maior uniformização e, sempre com as boas práticas laboratoriais em vista para este tipo de ensaios, o tipo de provete adoptado foi igual ao usado no ensaio à flexão sob carga positiva. Esta decisão foi tomada também para se poder fazer uma comparação directa dos resultados. As únicas diferenças a assinalar são que os pontos de aplicação da força exercida pela máquina de ensaios universal serão no tardo e não na face da peça de ladrilho, e que os perfis de alumínio não assentam na base, sendo suspensos por travessas de aço.

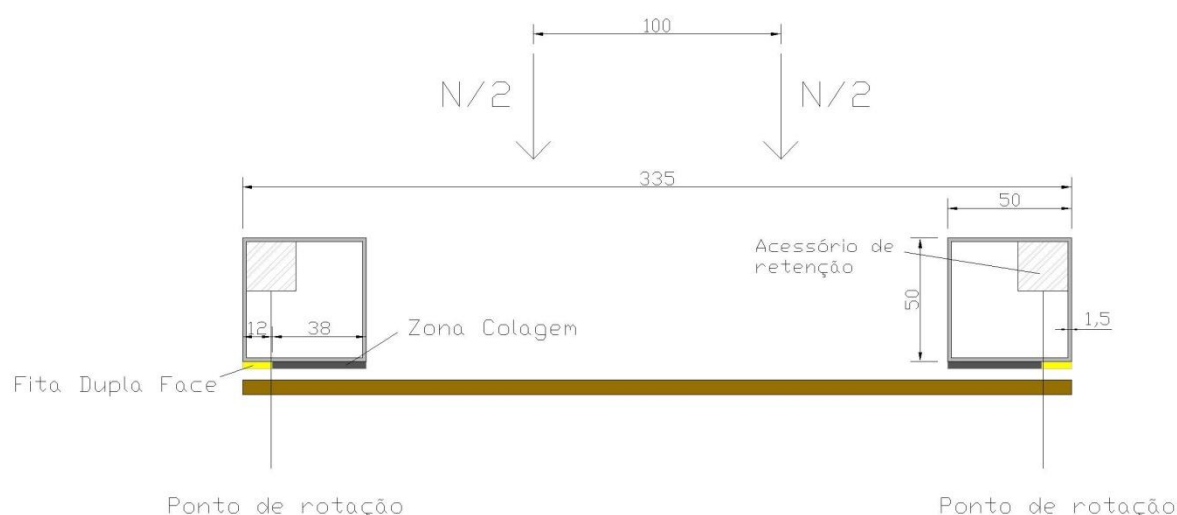


Figura 4.6 – Esquema exemplificativo de um provete ensaiado à flexão sob carga negativa (dimensões em mm)

#### 4.2.3 Condições de ensaio

A escolha das condições de ensaio resulta de um compromisso entre o tempo total disponível para a realização deste trabalho e o tamanho da amostra. Este trabalho teve a duração de um semestre e, como tal, houve uma tentativa de maximizar a exposição dos provetes às condições de envelhecimento pelo maior número de dias possível, ao mesmo tempo que se tentou ter uma amostra o maior possível para que se pudesse tirar conclusões objectivas.

Numa primeira fase foram avaliadas as temperaturas a que os provetes poderiam estar sujeitos e constatou-se que a amplitude de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  seria representativa das condições de exposição a que o sistema fica exposto em função dos dados das condições meteorológicas extremas do país. Para que houvesse um ponto de partida para uma comparação final de resultados, e para garantir uma cura eficiente da colagem dos provetes antes de os sujeitar ao processo de envelhecimento, optou-se por colocá-los durante 7 dias numa câmara climática a  $23^{\circ}\text{C}$  de temperatura e 50% de humidade relativa. Por razões de comparação de resultados, manteve-se igualmente uma série exposta durante o período complementar nestas condições. Numa fase seguinte, e com as indicações do manual de instruções da cola sempre presentes, que recomendam a colagem a temperaturas entre  $5^{\circ}\text{C}$  e  $30^{\circ}\text{C}$  e que desaconselham a aplicação desta em condições de ambiente húmido, elaboram-se os provetes.

Considerou-se que  $-20^{\circ}\text{C}$  seria a mais baixa temperatura a que o sistema poderia estar exposto. Pelo contrário, as temperaturas  $40^{\circ}\text{C}$  e  $70^{\circ}\text{C}$  representavam as condições ambientais no Verão, onde a exposição solar é mais intensa. Optou-se por duas condições a  $70^{\circ}\text{C}$ , uma com humidade relativa de 50% e outra de 90%, bem como a utilização de 90% de humidade relativa para a série  $-20^{\circ}\text{C}$ . Achou-se igualmente pertinente expor o conjunto à acção do gelo-degelo, bem como à acção da radiação solar. Neste caso e, dado estes ensaios serem mais exigentes estas duas séries foram expostas só durante o período de uma semana. O facto de se terem feito ensaios ao fim de uma, duas e 4 semanas prende-se com a necessidade de ver a evolução do comportamento da solução à exposição às condições de envelhecimento.

Apresenta-se, no Quadro 4.1, um resumo pormenorizado do acondicionamento feito aos provetes para os diferentes ensaios realizados: C – Ensaio ao corte; F – Ensaio sob carga positiva; A – Ensaio sob carga negativa. Está também descrita a quantidade de provetes utilizados em cada um dos diferentes tipos de condições de ensaio. Note-se a escolha de cinco provetes para cada tipo de ensaio para garantir estatisticamente uma maior fiabilidade aos resultados obtidos.

Quadro 4.1 – Tabela onde estão atribuídos os provetes a cada série de ensaios.

Temp. (°C)	Hum. Rel. (%)	Tempo de cura	Tipo	Tempo de acondicionamento			Total
		1 Semana		1 Semana	2 Semanas	4 Semanas	
-20	90	23°C/50% HR	C	5	5	5	15
			F	5	5	5	15
			A	5	5	5	15
23	50		C	5	5	5	15
			F	5	5	5	15
			A	5	5	5	15
40	50		C	5	5	5	15
			F	5	5	5	15
			A	5	5	5	15
70	50		C	5	5	5	15
			F	5	5	5	15
			A	5	5	5	15
70	90		C	5	5	5	15
			F	5	5	5	15
			A	5	5	5	15
Gelo Degelo		C	5			5	
		F	5			5	
		A	5			5	
Solar Box		C	5			5	
		F	5			5	
		A	5			5	
<b>Total</b>			<b>105</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>255</b>	

### 4.3 Preparação dos provetes

#### 4.3.1 Material de laboratório

Os materiais e ferramentas utilizados para a elaboração dos provetes estão discriminados na seguinte lista:

- Pistola de aplicação mástique;
- Diluente celuloso;
- Espátula;
- Panos e toalhetes de limpeza;
- Tesoura e faca;

Todos os provetes foram colados respeitando de um modo igual, as instruções incluídas no manual de aplicação do fabricante da solução de colagem e as indicações dadas anteriormente

neste documento. Tendo em conta que o ambiente laboratorial em que os ensaios foram realizados apresentava melhores condições de limpeza do que normalmente acontece em obra, foi suprimido o passo que inclui limpeza, quer do tardo da peça de ladrilho, quer do perfil de alumínio com o produto aconselhado, optando-se por uma limpeza com diluente celuloso corrente a este último. Tendo em conta que o tardo da peça não foi sujeito a qualquer tipo de contaminação, este foi utilizado tal como saiu da linha de fabrico. Esta decisão só foi tomada após uma campanha de ensaios prévios onde se verificou que as diferenças que daí advinham eram negligenciáveis.

#### 4.3.2 Provetes ensaiados ao corte

Os perfis de alumínio foram limpos utilizando toalhetes embebidos em diluente celuloso para garantir uma limpeza profunda da sua superfície. Após 15 minutos de secagem foi então colocada a fita dupla face e esta foi cortada na direcção transversal aproveitando os espaços entre os perfis.



Figura 4.7 – Preparação dos provetes:  
a) Provetes prontos a serem limpos ; b) Provetes já com a fita dupla-face colada

Com o auxílio de uma pistola própria para o efeito foi então colocada a cola sobre as chapas de alumínio e retirada a película protectora da fita dupla face.



Figura 4.8 – Provetes imediatamente após a aplicação da cola:  
a) Provetes após aplicação da cola e descolagem da protecção da fita dupla-face ;  
b) Provetes prontos a serem colados

Finalmente, foi colocada a peça do ladrilho cerâmico sobre o conjunto previamente preparado, centrada segundo as laterais e com o cuidado de cumprir o desfasamento de 1cm exigido pela norma NP EN 12003 – 2007 [16] tal como está exemplificado na figura seguinte.

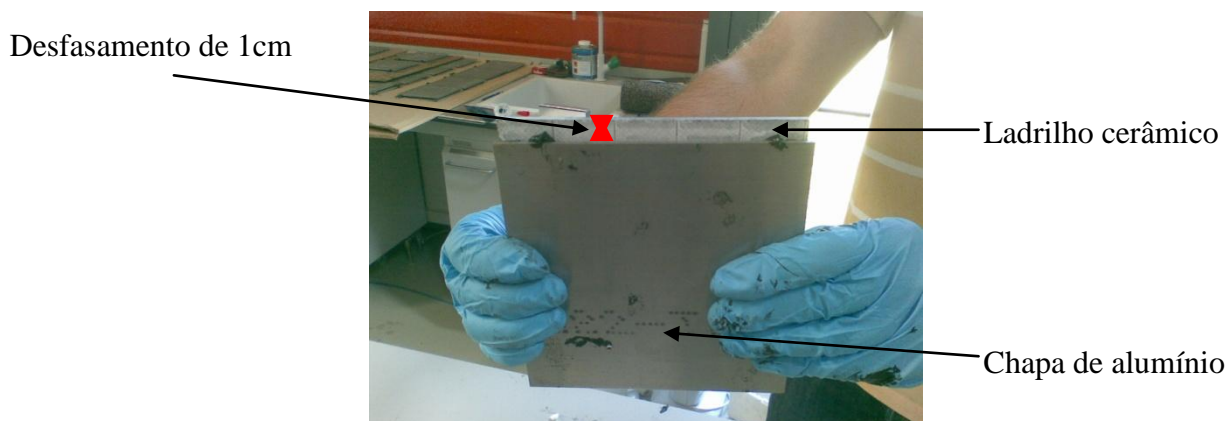


Figura 4.9 – Provette para ensaio ao corte

#### 4.3.3 Provetes ensaiados sob carga positiva e sob carga negativa

A preparação destes provetes foi em tudo semelhante à dos provetes usados para o ensaio ao corte, com a excepção de, depois de 15 minutos de secagem, ter sido marcada a face superior, com um marcador de tinta indelével para não haver uma possível troca de face, por uma não tratada.



Figura 4.10 – Preparação dos provetes:  
a) Perfis metálicos a serem limpos com um toalhete embebido em diluente  
b) Provetes já com a fita dupla face aplicada

Após a colagem da fita dupla face, foi aplicada a cola no perfil e, de seguida, retirada a protecção da fita dupla face. Posteriormente, os perfis metálicos foram dispostos paralelamente para que cumprissem o espaçamento pré estabelecido de 33.5 cm. Finalmente, foi então colocada a peça, com alguma pressão para confirmar a perfeita aderência do conjunto.

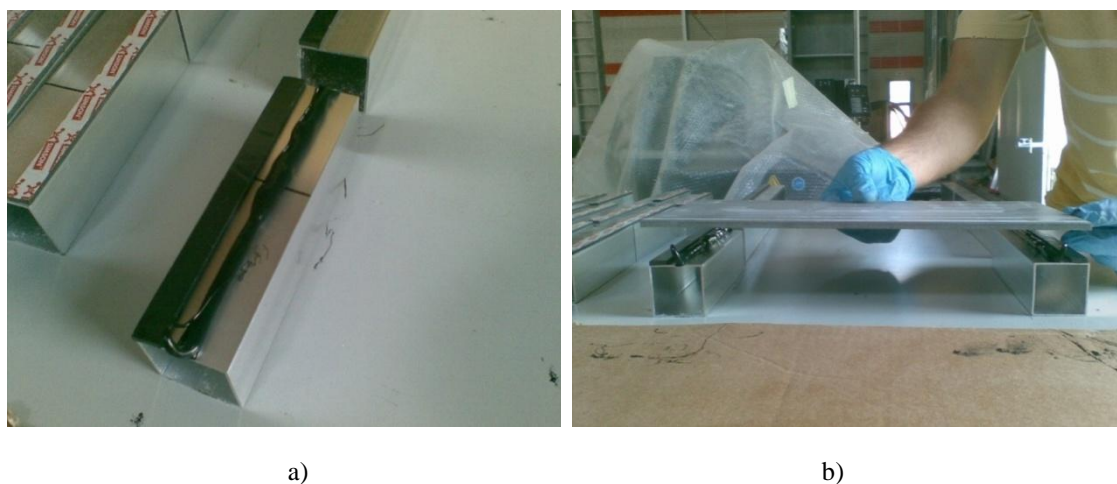


Figura 4.11 – Colagem dos provetes:  
a) Proвете com fita dupla-face e cola aplicada b) Peça de ladrilho pronta a ser aplicada

## 4.4 Equipamento utilizado para o condicionamento de provetes e realização dos ensaios

### 4.4.1 Câmaras climáticas

Para cumprir a metodologia de ensaios previamente explicitada e devido à elevada quantidade de provetes, houve a necessidade de recorrer a uma câmara climática do tipo “walk in” da marca ARALAB. Esta câmara tem a capacidade de 15,6 m<sup>3</sup> e foi pré-programada para uma temperatura de 23±0,5°C C e 50±2% de humidade relativa [18, 19].

Optou-se então por dividir os provetes por dois lotes de ensaios constituídos por 3 séries, - 20±0,5°C / 90±2% HR, 23±0,5°C / 50±2% HR, 40±0,5°C / 50±2% HR e 2 séries 70±0,5°C / 50±2% HR, 70±0,5°C / 90±2% HR, cada uma destas com a duração de 4 semanas. Com esta configuração foi necessário recorrer a duas câmaras climáticas, cada uma com 1 m<sup>3</sup> de volume, ao mesmo tempo que a câmara “walk-in” foi utilizada ininterruptamente.

### 4.4.2 Câmara gelo-degelo

No caso das condições de gelo-degelo, optou-se por seguir as indicações da norma NP EN 12371 – 2006, aplicáveis à pedra natural como condições de envelhecimento, cujo ciclo de 12 horas seguiu a metodologia indicada no quadro seguinte [20]:

Quadro 4.2 – Ciclo gelo-degelo detalhado

Período de Gelo 6 horas	- 8,0 °C	2 horas
	-12,0 °C	4 horas
Período de Degelo 6 horas	20,0 °C	0,5 horas submerso
	20,0 °C	5,5 horas emerso

Este ciclo pretende fazer com que a peça absorva a maior quantidade de água possível, para quando esta estiver exposta a temperaturas negativas a expansão de volume que eventualmente daí advier faça com que a peça fique fragilizada. O início desta parte do trabalho deu-se na parte do ciclo correspondente à zona emersa. O equipamento utilizado com este fim é da marca ARALAB, modelo Fitoterm 700GD25 com uma câmara com o volume de 700l e uma amplitude térmica programável de -25±1°C até 60±1°C [18, 21].



Figura 4.12 – Equipamento Fitoterm 700GD23

#### 4.4.3 Solar Box

O equipamento utilizado para este ensaio é da marca CO.FO.ME.GRA., modelo Solarbox 3000e RH com um tabuleiro com capacidade para albergar provetes com dimensões máximas de 420 x 200 mm<sup>2</sup>. O software deste equipamento vem pré-programado para cumprir rigorosamente várias condições de ensaio, correspondentes a normas aplicáveis a tintas, peles e outros produtos. Nenhum destes programas ia de encontro às necessidades deste trabalho, o que levou a uma pesquisa bastante alargada tendo-se concluído que para ensaios com as características das colas utilizadas neste caso de estudo, existe um norma ASTM D904 - 99 (2008), que nos dá pormenorizadamente os tempos de exposição, comprimentos de onda da fonte luminosa e temperaturas a serem usados neste ensaio [22, 23].



Figura 4.13 – Equipamento Solarbox 3000e RH

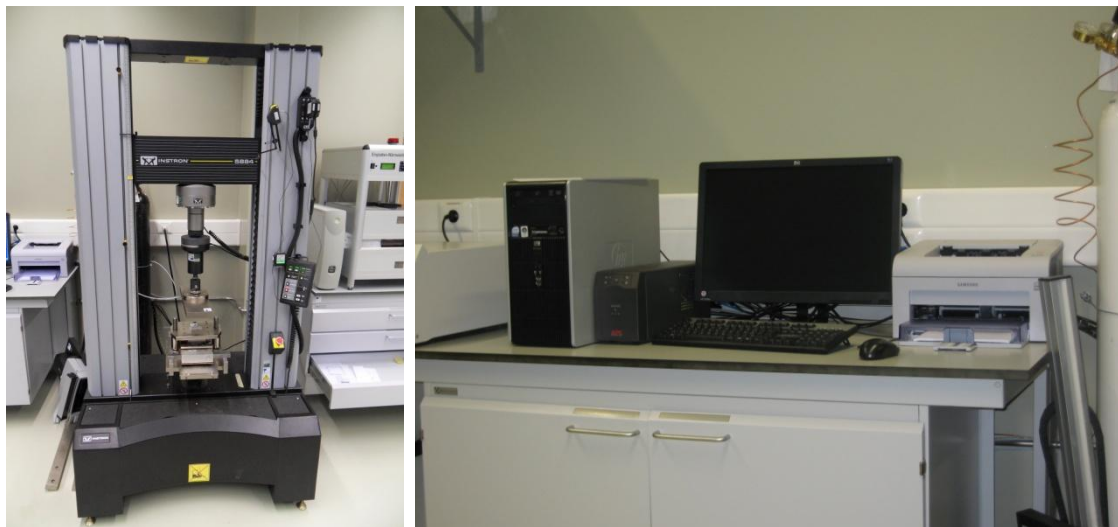


A norma refere que deverão ser feitos ciclos de 20 minutos de exposição luminosa com uma temperatura no BST (Black Sensor Temperature – permite leitura da temperatura no interior do equipamento) de  $63 \pm 3^\circ\text{C}$  e uma humidade relativa de  $50 \pm 5\%$ , alternados com ciclos de 40 minutos de obscuridade total em múltiplos de 168 h. Esta norma tem a particularidade de obrigar a utilização de peças transparentes para que a exposição da cola à radiação seja directa. Este facto implica que para este trabalho e com as condições previamente estabelecidas, a sua utilização não seria possível.

Para colmatar esta adversidade, e depois de consultado o trabalho científico de Cocca [26] e também com base na norma ASTM D904 – 99 (2008) [23], decidiu-se optar por um ciclo único de exposição durante 10 dias consecutivos, com uma temperatura de BST de  $70^\circ\text{C}$  e humidade relativa de 50%. Esta opção foi tomada também tendo em conta os restantes ensaios para que se pudesse ter um termo de comparação.

#### **4.4.4 Máquina universal de ensaios**

A máquina universal de ensaios utilizada para conduzir os três tipos de ensaios é da marca INSTRON, modelo 5884. Este equipamento tem como principais características a sua modularidade em termos de acessórios sendo possível adaptar inúmeros pratos, quer inferiores, quer superiores, bem como a capacidade de variar a sua precisão através da alteração da célula de carga pelas várias disponíveis de 10, 30 e 100KN, tendo em conta os ensaios a serem desenvolvidos. Esta máquina é operada através de um computador cujo software específico, Bluehill, permite configurar pormenorizadamente o desenrolar do ensaio em termos de velocidades de aplicação de cargas e detecção de cargas de rotura, parâmetros estes imprescindíveis para esta campanha de ensaios. Para além destas características, este software permite também a exportação de dados para posterior análise numa vulgar folha de cálculo, o que se veio a verificar extremamente útil [24].



a)

b)

Figura 4.14 – Fotografias relativas à máquina universal de ensaios:

a) Máquina universal de ensaios Instron 5884

b) Computador de controlo da máquina universal de ensaios

#### 4.4.4.1 Ensaio ao corte

Através do software descrito anteriormente, configuraram-se os seguintes parâmetros para serem utilizados no decorrer do ensaio:

- Pré-carga – 10 N;
- Rotura – Para uma variação da taxa compressiva de 1%;
- Velocidade – 4000 N/min;

Estes parâmetros foram obtidos após a realização dos ensaios prévios, onde se definiu esta pré-carga como carga suficiente para considerar que o prato superior actuava uniformemente no topo do provete. A velocidade e o critério de rotura, foram os considerados adequados para a detecção da rotura, quer pela cola, quer pelo ladrilho. Deverá salientar-se o facto de ter sido usada uma célula de carga de 30 kN. Para cumprir com o estabelecido na norma NP EN 12003 - 2007 foi utilizado um acessório fabricado de acordo com o previsto nessa mesma norma que se pode ver na figura seguinte [16].

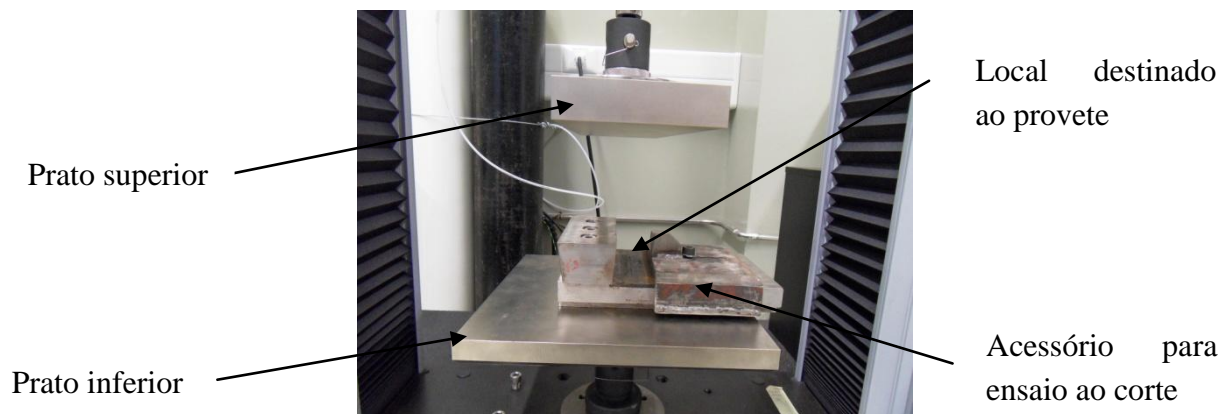


Figura 4.15 – Esquema detalhado da montagem utilizada para o ensaio ao corte

#### 4.4.4.2 Ensaio sob carga positiva

Para este tipo de ensaios, o software foi configurado da seguinte maneira:

- Pré-carga – 10 N;
- Rotura – Para uma variação da taxa compressiva de 5%;
- Velocidade – 600 N/min;

Tendo em conta que os valores obtidos através destes ensaios foram bastante inferiores aos obtidos através do ensaio ao corte, houve apenas a necessidade de utilizar a célula de carga com sensibilidade de 10KN. A montagem do sistema de ensaio está representada nas imagens seguintes:

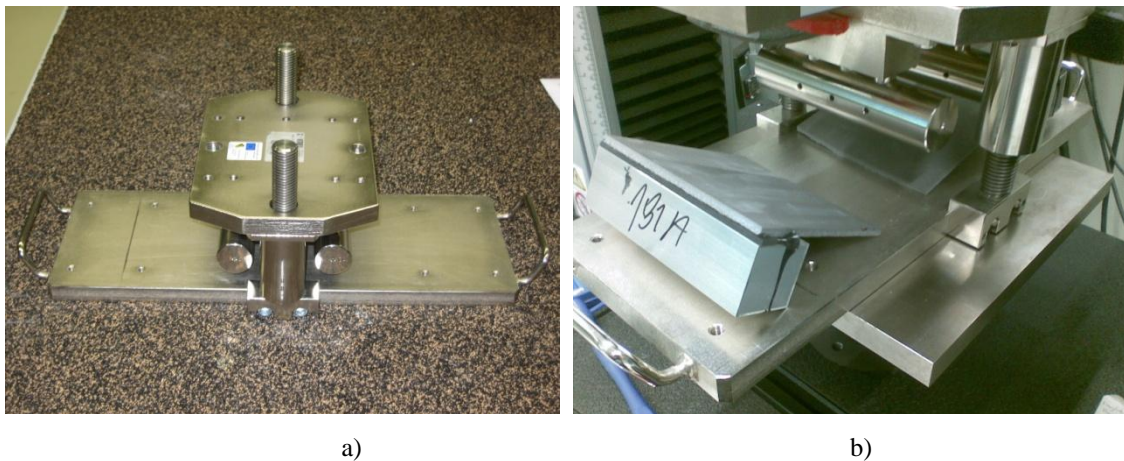


Figura 4.16 – Acessórios usados nos ensaios sob flexão positiva:  
a) Acessório usado para o ensaio sob flexão positiva, visto de lado  
b) Ensaio sob flexão positiva já terminado

#### 4.4.4.3 Ensaio sob carga negativa

Tanto as configurações do software como a utilização dos pratos da máquina universal de ensaios são idênticos nos dois ensaios à flexão. O que distingue estes ensaios, tal como já foi referido, é a necessidade de aplicar os pontos de força no tardo da peça e não na face. Para tal foram usados dois conjuntos de acessórios esquematizados na figura seguinte:

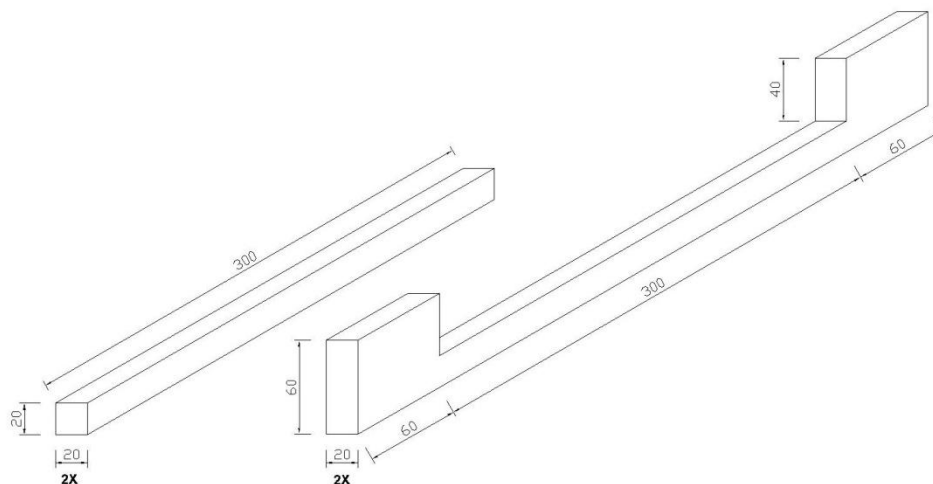


Figura 4.17 – a) Barras de apoio dos provetes no acessório esquematizado em b)  
b) Peça de formato em U para criar altura suficiente para o ensaio sob flexão negativa

A utilização do acessório em U serve para criar altura suficiente para que eventuais deformações da peça ocorram livremente, e os varões quadrados são utilizados para prender a peça e simular uma perfeita fixação ao paramento. Ambos os acessórios podem ser vistos na seguinte figura:

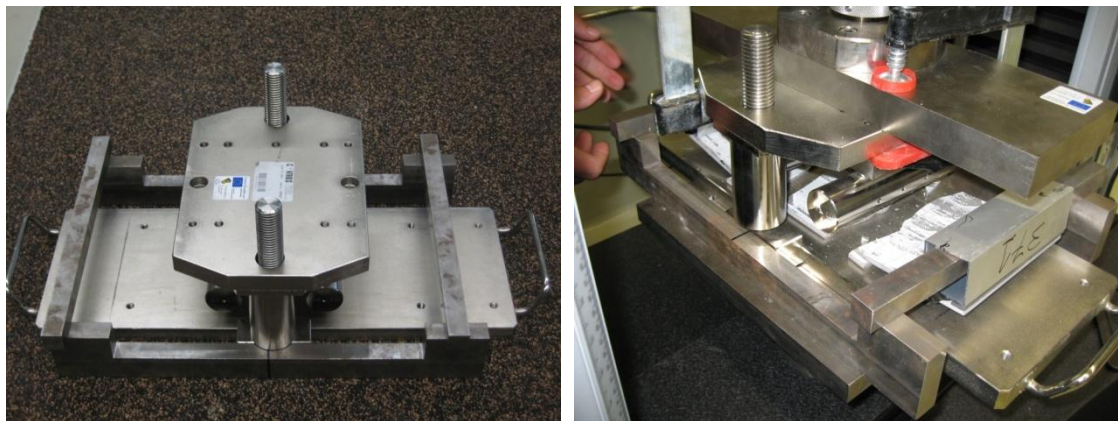


Figura 4.18– Acessórios usados nos ensaios sob flexão negativa:  
a) Acessórios usados para o ensaio sob flexão negativa, vistos de lado  
b) Montagem já com o ensaio finalizado

## 5 RESULTADOS E CONCLUSÕES DOS ENSAIOS

### 5.1 Ensaio de flexão com mosaico colado a tubos de alumínio

Os resultados detalhados dos ensaios são apresentados em anexo. No quadro seguinte estão indicadas as cargas médias ( $2 \times F$ ), em Newton (N), que levaram à rotura dos 5 provetes de cada tipo de ensaio de resistência em relação à flexão positiva:

Quadro 5.1 – Cargas médias de rotura obtidas através dos ensaios sob flexão positiva (N)

Temperatura:	-20°C	23°C	40°C	70°C	70°C
Humidade relativa:	90%	50%	50%	50%	90%
1 Semana	468	378	527	709	658
2 Semanas	405	382	509	449	421
4 Semanas	539	569	608	454	301
Ensaio após gelo / degelo:	431				

No quadro seguinte apresentam-se os resultados equivalentes, mas para as situações de resistência em relação à flexão negativa.

Quadro 5.2 – Cargas médias de rotura obtidas através dos ensaios sob flexão negativa (N)

Temperatura:	-20°C	23°C	40°C	70°C	70°C
Humidade relativa:	90%	50%	50%	50%	90%
1 Semana	723	748	689	748	744
2 Semanas	633	585	569	606	621
4 Semanas	728	731	726	610	578
Ensaio após gelo / degelo:	589				

A influência dos factores variáveis repercute-se de diferente forma nos resultados dos ensaios. Dado que a rotura se verificou sempre pelos mosaicos, os resultados dependem do vão de ensaio e da sua resistência que, por sua vez, depende da largura eficaz da sua secção, da sua espessura e da tensões de rotura à tracção (que se admite ser inferior à de compressão).

Note-se que os diversos resultados não podem, de forma rigorosa, ser comparados entre si, pois apesar de ter havido cuidado de forma a tentar aplicar a mesma área de cola em todos os provetes, é sempre difícil garantir que tal aconteça, tanto mais que o aperto entre as duas peças, na fase de colagem, expande a área de cola sem que se possa conhecer o seu valor. Apesar deste facto, e admitindo que a diferenciação entre valores mantém a sua representatividade, entende-se que as variáveis interagem com os resultados da seguinte forma:

Carga positiva / negativa:

Quando a carga é aplicada na face visível do mosaico, o momento flector resultante gera tracção na sua face posterior, que apresenta ligeiras nervuras que, sendo as fibras mais afastadas do eixo neutro, são as que sofrem maiores tensões. No caso de carga negativa a tracção verifica-se na face à vista do mosaico. Pela sua continuidade, esta superfície apresenta maior resistência do que as nervuras, pelo que, em princípio, as cargas de rotura negativas são superiores às positivas.

Temperatura:

Considera-se que a temperatura não tem efeito significativo na resistência dos mosaicos. Pelo contrário, pode afectar a resistência da cola. Quanto mais rígida for a cola tanto menor será o vão de ensaio do mosaico e maior a carga de rotura. Verifica-se que para prazos curtos (1 a 2 semanas) o aumento da temperatura aumenta a rigidez da cola mas, para períodos de tempo maiores, uma temperatura elevada acaba por reduzir a sua capacidade resistente.

Humidade relativa:

A humidade relativa aparenta não ter influência sensível nos resultados, excepto em caso de exposição prolongada, acompanhada de temperaturas elevadas.

Tempo após colagem:

Em geral verifica-se uma redução das características resistentes entre a 1ª e a 2ª semana, com uma recuperação (em geral parcial) na 4ª semana, com excepção dos casos de alta temperatura e humidade associadas, situação em que a evolução do tempo é sempre prejudicial.

## **5.2 Ensaios à flexão de mosaicos não colados**

Nos ensaios com mosaicos isolados, as forças de rotura médias foram de 473 N para momentos positivos e 608 N para momentos negativos, indo de encontro ao já afirmado em relação ao sentido das cargas. Os momentos flectores correspondentes são de  $473 \text{ N} / 2 \times 0.10$

$m = 23.65 \text{ kN.m}$  e  $608 \text{ N} / 2 \times 0.10 \text{ m}$ , respectivamente, dado que o vão de cálculo é  $0.30 \text{ m}$  e a distância “a” do diagrama da figura 3 é  $0.10 \text{ m}$ .

### 5.3 Ensaio ao corte

No quadro seguinte, estão resumidos os valores médios das forças que levam à separação entre a placa de alumínio e o mosaico, devido a esforço de corte na colagem, bem como os deslocamentos máximos sofridos antes da rotura

Quadro 5.3 – Cargas médias de rotura obtidas através dos ensaios ao corte (N)

Temperatura:	-20°C	23°C	40°C	70°C	70°C
Humidade relativa:	90%	50%	50%	50%	90%
1 Semana	3878	3834	7407	10673	8388
2 Semanas	4134	6451	7025	11613	7941
4 Semanas	4463	8433	9158	8983	6323
Ensaio após gelo / degelo:	5338				

Quadro 5.4 – Valores médios dos deslocamentos máximos obtidos através dos ensaios ao corte (mm)

Temperatura:	-20°C	23°C	40°C	70°C	70°C
Humidade relativa:	90%	50%	50%	50%	90%
1 Semana	9.96	7.29	13.09	15.64	17.63
2 Semanas	9.47	11.74	11.12	15.97	18.31
4 Semanas	10.96	12.52	13.64	12.07	15.49
Ensaio após gelo / degelo:	12.49				

Após dez dias na câmara de envelhecimento acelerado (“solar box”), a  $70^\circ\text{C}$  e a 50% de humidade relativa, os provetes apresentaram uma resistência média ao corte de  $9813.82 \text{ N}$  com uma deformação média de  $12.57 \text{ mm}$

Tal como no caso da flexão, os resultados individuais não podem ser comparados directamente entre si, de forma rigorosa, face à irregularidade da superfície colada, agravada, no caso da deformação transversal (distorção), pela variação da sua espessura.



Trabalhando sobre esta limitação, admitindo que a variação de valores continua a representar a variação das características dos provetes, podem tirar-se as seguintes ilações, em relação às forças de rotura por corte:

Temperatura:

Verifica-se que numa fase inicial o aumento da temperatura é acompanhado de aumento da resistência da cola mas, a prazo, uma temperatura mais elevada reduz aquela resistência.

Humidade relativa:

Quando acompanhada de temperaturas elevadas, a humidade relativa alta é nociva para a resistência da colagem. Nos restantes casos não aparenta ser significativamente influente.

Tempo após colagem:

Em geral verifica-se que a passagem do tempo é acompanhada de uma melhoria da resistência da colagem, excepto no caso de alta temperatura (70°C), sobretudo quando acompanhada de alto índice de humidade relativa do ar.

Envelhecimento acelerado:

O envelhecimento acelerado não apresentou consequências relevantes no desempenho da cola.

O pior desempenho verificou-se na série de provetes ensaiados após permanência em ambiente húmido (90% HR) e frio (-20°C).

A determinação do módulo de distorção a partir das forças e deslocamentos não poderá ser obtida de forma rigorosa nem comparável entre casos, pelas razões já referidas. Apesar deste condicionalismo, os valores obtidos pela divisão entre forças e deslocamentos poderão traduzir uma estimativa do módulo de distorção, não em termos absolutos, mas relativos entre os vários resultados. Assim o valor do módulo de distorção estimado, multiplicado pela área de colagem e dividido pela sua espessura está indicado no quadro seguinte, para cada uma das situações:

Quadro 5.5 – Módulo de distorção x área/espessura (mm)

Temperatura:	-20°C	23°C	40°C	70°C	70°C
Humidade relativa:	90%	50%	50%	50%	90%
1 semana	389	526	566	682	476
2 semanas	437	549	632	727	433
4 semanas	407	674	671	744	408

De uma forma geral, pode afirmar-se que os factores variáveis têm uma influência qualitativamente semelhante nos valores da resistência e do módulo de distorção da cola.

#### **5.4 Capacidade resistente dos mosaicos colados**

Apesar de alguns resultados não serem totalmente conclusivos, é possível calcular, numa forma conservativa, a capacidade de resistência mecânica dos mosaicos após colagem e assim permitir determinar o espaçamento máximo entre perfis metálicos de suporte.

Os ensaios de flexão mostraram que o ponto fraco do sistema mosaico-cola é o mosaico, no qual se verificou sempre a rotura antes da descolagem. Com o aumento do vão de cálculo, que se verificará na prática, este défice de resistência do mosaico em relação à cola é agravado, dado que o momento flector aumenta na razão do quadrado do vão, enquanto a reacção de apoio aumenta apenas de forma directamente proporcional àquela dimensão.

As acções que provocam momentos flectores significativos no mosaico são o vento, o sismo e os impactos. Destas acções será apenas analisado o vento dado que o valor da acção sísmica assume, mesmo em zona de máxima sismicidade, valores inferiores aos do vento. Quanto às acções de impacto, tratando-se de acções do tipo acidental, não têm valores característicos, ficando sujeitas à atribuição de valores nominais. Após fixação desses valores, poderão ser feitos ensaios experimentais.

Em termos da acção regulamentar do vento (RSA), a situação mais desfavorável verifica-se em zonas tipo B (faixa costeira de 5 km de largura, arquipélagos dos Açores e da Madeira e zonas particularmente sensíveis ao vento), com rugosidade do tipo II (zonas rurais e periferia das cidades) e à maior altura expectável acima do solo. Se se considerar como limite um edifício de 30 andares e cerca de 90 m de altura, o valor característico da pressão dinâmica do vento será de  $1.71 \text{ kN/m}^2$ , correspondendo a uma velocidade de 190 km/h.

Sendo o maior valor absoluto de coeficiente de pressão regulamentar para paredes de 1.2, um painel de parede ficará sujeito à pressão majorada de:

$$1.71 \text{ kN/m}^2 \times 1.2 \times 1.5 = 3.08 \text{ kN/m}^2 \text{ (coef. segurança} = 1.5)$$

O momento flector, função do vão, terá o seguinte valor, considerando os painéis com um vão único e simplesmente apoiados:

$$M_{sd} = 3.08 \text{ kN/m}^2 \times l^2 / 8 = 0.385 \times l^2 \text{ kN.m/m} \quad (l = \text{vão})$$

Os piores resultados dos ensaios de flexão tiveram como carga de rotura cerca de 300 N, correspondente a duas forças iguais e distanciadas dos apoios 0.10 m e aplicadas num mosaico com 0.145 m de largura. O momento flector resistente resultante é de:

$$M_{rd} = 0.300 \text{ kN} / 2 \times 0.10 \text{ m} / 0.145 \text{ m} = 0.103 \text{ kN.m/m}$$

Igualando as duas expressões anteriores obtém-se um vão máximo de 0.52 m, cuja montagem está esquematizada na figura 5.1.

POSICIONAMENTO VERTICAL DOS PAINEIS (1 vão - 2 apoios)

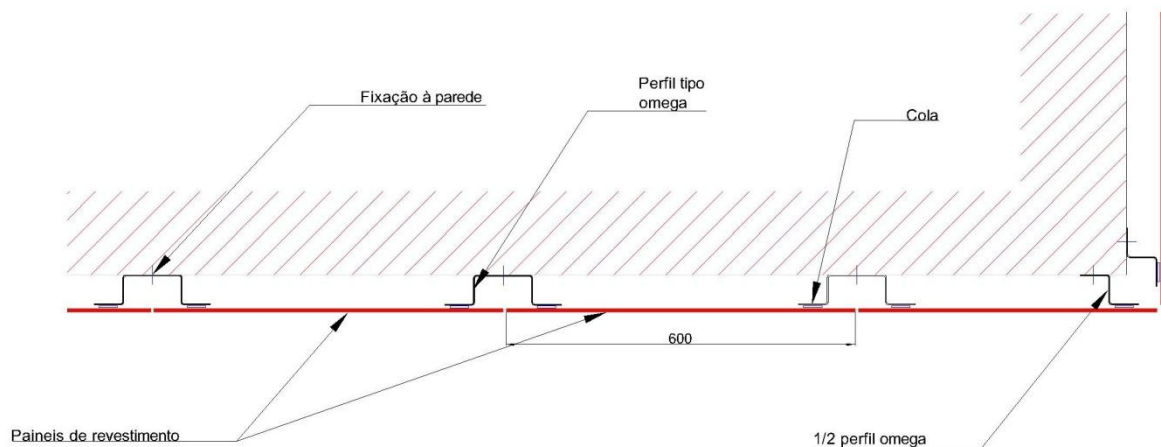


Figura 5.1 - Esquematização de uma das possibilidades de fixação do painel cerâmico utilizando 2 apoios

Admitindo a hipótese de os painéis serem montados em dois vãos, estando esta montagem na esquematizada na figura 5.2, com 3 apoios o momento flector actuante máximo mantém-se, dado que, no apoio central o momento negativo tem uma expressão de cálculo semelhante à do momento positivo para um vão.

POSICIONAMENTO HORIZONTAL DOS PAINEIS (2 vãos - 3 apoios)

Apoio central com 2 fixações à parede e 1 colagem

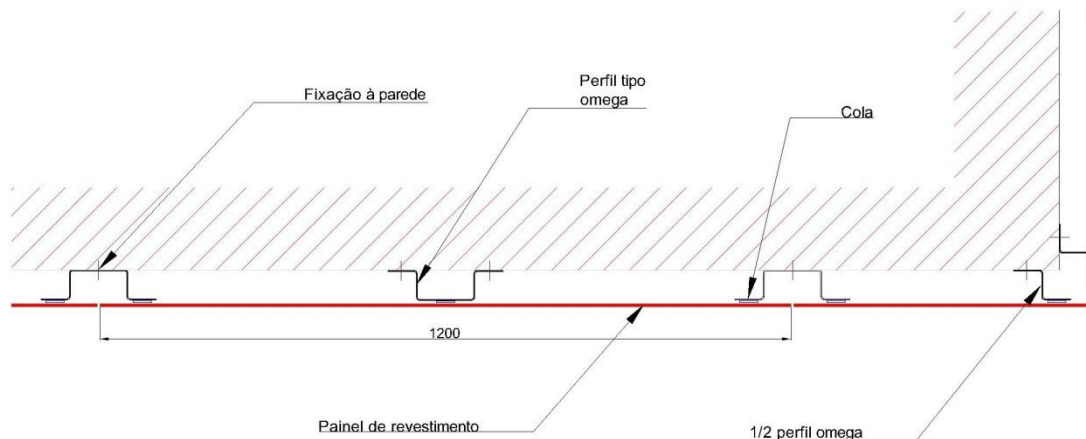


Figura 5.2 – Esquemática de uma das possibilidades de fixação do painel cerâmico utilizando 3 apoios

Contudo, o momento resistente negativo é superior ao anteriormente calculado, dado que a menor carga de ensaio teve o valor de 569, resultando um valor de:

$$M_{rd} = 0.569 \text{ kN} / 2 \times 0.10 \text{ m} / 0.145 \text{ m} = 0.196 \text{ kN.m/m}$$

Comparando este valor com a expressão de cálculo do momento actuante ( $0.385 \times l^2$  kN.m/m), obtêm-se um vão máximo de 0.71 m. Por outro lado, o valor do momento positivo actuante é reduzido passando a:

$$M_{sd} = 3.08 \text{ kN/m}^2 \times l^2 / 12 = 0.257 \times l^2 \text{ kN.m/m} \quad (l = \text{vão})$$

Comparando esta expressão com o valor do momento resistente (0.103 kN.m/m) obtêm-se um vão máximo de 0.63 m, passando esta dimensão a ser a condicionante do cálculo.

Repetindo estes cálculos, para condições mais favoráveis – edifícios com 20 m e 10 andares podem obter-se os seguintes quadros de cálculo de vãos máximos, tendo em conta a resistência dos mosaicos à flexão:

Quadro 5.6 – Mosaicos com 1 vão (2 apoios)

Zona de vento	Altura acima do solo (m)	Velocidade do vento (km/h)	Pressão dinâmica (kN/m <sup>2</sup> )	Pressão majorada (kN/m <sup>2</sup> )	Msd / l <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	Vão máximo (m)
B	90	190	1.71	3.08	0.385	0.517
B	60	179	1.52	2.74	0.342	0.549
B	30	163	1.25	2.25	0.281	0.605

Quadro 5.7 – Mosaico com 2 vãos (3 apoios)

Zona de vento	Altura acima do solo (m)	Velocidade do vento (km/h)	Pressão dinâmica (kN/m <sup>2</sup> )	Pressão majorada (kN/m <sup>2</sup> )	Msd / l <sup>2</sup> (kN/m <sup>2</sup> )	Vão máximo (m)
B	90	190	1.71	3.08	0.257	0.633
B	60	179	1.52	2.74	0.228	0.672
B	30	163	1.25	2.25	0.188	0.740

Em relação ao esforço de corte, o seu efeito destina-se a resistir ao peso das placas. Considerando um peso máximo de cerca de 0.15 kN/m<sup>2</sup> e a possibilidade de uma placa descair e carregar sobre a inferior, a reacção vertical majorada em cada um dos apoios será, em função do vão:

$$Vsd = 0.15 \text{ kN/m}^2 \times l / 2 \times 1.00 \text{ m} \times 2 \times 1.5 = 0.225 \times l \text{ kN/m} \quad (l = \text{vão})$$

O pior resultado obtido no ensaio de corte foi de 3.834 kN, com um deslocamento de 7.29 mm. Contudo, assumindo um comportamento elástico linear e limitando o deslocamento a 1 mm o pior resultado passa a ser o do ensaio com 8.388 kN e um deslocamento de 17.63 mm, pois ficará limitado a:

$$8.388 \text{ kN} \times 1 \text{ mm} / 17.63 \text{ mm} = 0.476 \text{ kN}$$

Este resultado foi obtido em duas faixas de colagem com um comprimento de 2 x 0.125 m = 0.25 m, pelo que a resistência unitária ao corte é de 1.903 kN/m. Comparando este valor com o da expressão de cálculo de Vsd seria obtido o vão máximo de cerca de 8.5 metros.

Nestas condições, pode concluir-se que a resistência à flexão é condicionante do dimensionamento, mantendo-se válido o quadro atrás apresentado.

## **5.5 Considerações finais**

Foram realizados ensaios de flexão e de corte do sistema de colagem, tendo sido analisada a influência, ao longo do tempo, de factores ambientais variáveis, tais como a temperatura e a humidade relativa do ar, bem como ensaios a provetes submetidos a condições de gelo-degelo e a envelhecimento acelerado.

Dado que, nos ensaios de flexão, os provetes ruíram sempre pelo mosaico, não foi possível determinar, a resistência à tracção da colagem, no limite. Nestas condições, foi decidido fazer novo conjunto de ensaios para determinar a resistência de cordões de cola isolados à tracção, bem como a resistência à tracção de colagens alumínio-mosaico. Estes ensaios são feitos em várias condições ambientais, estando actualmente em curso. Os respectivos resultados serão objecto de relatório posterior.

Apesar destas contingências, foram calculados os vãos máximos entre apoios suportados pelos mosaicos, a partir dos piores resultados dos ensaios, tendo sido obtidos valores entre cerca de 0.52 e 0.74 m, dependendo das condições de apoio e da altura do edifício onde será aplicada a fachada.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Conclusões

O revestimento de um edifício representa uma protecção à chuva, ao vento, à acção directa do sol, ao frio e ao calor, para além de apresentar também um papel estético. Ao longo dos anos têm surgido diferentes soluções para revestimento de fachadas.

O presente trabalho centra-se na análise de uma solução que resulta da colagem de ladrilhos cerâmicos a perfis metálicos de modo a constituir uma fachada ventilada.

Este trabalho contemplou a avaliação das garantias oferecidas pelo sistema através de uma campanha de ensaios laboratoriais onde este foi sujeito a diversas condições ambientais que tentam reproduzir as condições a que uma fachada de um edifício poderá estar exposta. O estudo contemplou o envelhecimento acelerado da colagem ao longo de um máximo de 4 semanas, que deverá ser entendido como curto face ao tempo de vida útil de um edifício.

Após a realização da campanha de ensaios descrita e relatada nos capítulos anteriores, pode-se concluir, com uma grande margem de segurança, que a resistência que a cola confere ao conjunto, em termos do peso próprio da peça, está assegurada. Quanto à acção do vento sobre esta, no caso de se usar o tamanho comercial de maiores dimensões aplicado de maneira a ultrapassar o vão máximo admissível, que depende da velocidade do vento, poderá haver rotura da peça. Aumentando o cuidado com que será feita a distribuição dos perfis no paramento do edifício, onde este sistema for instalado, poder-se-á garantir a inteira fiabilidade deste sem quaisquer alterações às indicações de montagem previstas.

Considerando que o exemplo dado, para melhor relacionar os resultados obtidos com um exemplo real, exige do sistema uma elevada resistência, se a compararmos com a construção mais comum que se realiza em Portugal, concluí-se que, é possível efectuar a montagem deste mesmo sistema com poucas ou nenhuma restrições na grande maioria dos edifícios construídos no nosso país.

## 6.2 Trabalhos futuros

São vários os trabalhos futuros que podem surgir na continuidade desta dissertação. As condições de envelhecimento usadas tiveram de se adaptar ao tempo disponível para a realização deste trabalho. Se tivermos em conta o tempo de vida útil de um edifício, entende-se que ensaios com uma duração superior poderiam reproduzir com maior fiabilidade o comportamento do sistema ao longo da sua vida útil.

Todas as características, quer térmicas, acústicas, etc, apresentadas no capítulo 2, relativamente ao conjunto em estudo foram tidos em conta de uma forma qualitativa e não objectiva. Seria interessante futuramente elaborarem-se ensaios que pudessem quantificar quais as vantagens ou desvantagens face a outras soluções de revestimento em termos de isolamento térmico e acústico, bem como relativamente à estanquidade do conjunto.

Seria também interessante repetir estes mesmos ensaios para outro tipo de material de revestimento com as mesmas características de peso e volume, como por exemplo para painéis em resina fenólica ou fibrocimento, de maneira a averiguar a resistência da colagem e da flexão face ao vento.

A solução estrutural de fixação foi, neste trabalho prático, relegada para segundo plano. Um estudo pormenorizado do comportamento desta parte do sistema constitui por si só um possível tema de trabalho futuro.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wikipedia @ (2009). <http://www.wikipedia.org>, Portugal.
2. Júnior, A.A.d.S. (2003). "Tecnologia de fachada-cortina com placas de grés porcelanato". Tese de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
3. R.C.C.T.E. (2006). "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios: Decreto-Lei n.º 80/2006", Porto Editora, Portugal.
4. Vicente, R.d.S. (2002.) "Patologias das paredes de fachada - Estudo do comportamento mecânico das paredes de fachada com correcção exterior de pontes térmicas". Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
5. EUROFOX @ (2009). <http://www.eurofox.com>, Áustria.
6. Construlink (2006). "Dossier Técnico-Económico - Fachadas Ventiladas", Portugal.
7. Soladrilho @ (2009). <http://www.soladrilho.pt/>, Portugal.
8. Revigrés @ (2009). <http://www.revigres.pt/>, Portugal.
9. Recer @ (2009). <http://www.recer.pt/>, Portugal.
10. Aleluia @ (2009). <http://www.aleluia.pt>. S. *Aleluia Cerâmicas, SA* (site internet oficial), Portugal.
11. Favemanc @ (2009). <http://www.favemanc.com>, Espanha.
12. Revigrés (2009). "Catálogo comercial do produto - Revigrés Light", Portugal.
13. Manual Técnico Bostik - *SIMSON PANELTACK HM* (2009) - Bostik, Portugal.

14. Ficha Técnica Sika - SikaTak - Panel (2000) - Sika, Portugal.
15. Santos, A.T.M. (2009), "Henkel - SP 301. Fachadas - Ficha Técnica", Construlink, Portugal.
16. IPQ (2007). "Colas para ladrilhos - Determinação da resistência ao corte de resinas de reacção", NP EN 12003, Instituto Português de Qualidade, Portugal.
17. IPQ (2009). "Ensaio do betão endurecido - Resistência à flexão de provetes", NP EN 12390-5, Instituto Português de Qualidade, Portugal.
18. ARALAB @ (2009). <http://www.aralab.pt/>, Portugal.
19. Brochura Comercial ARALAB - FITOCLIMA (2009) - ARALAB, Portugal.
20. IPQ (2006). "Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência ao gelo", NP EN 12371, Instituto Português de Qualidade, Portugal.
21. Brochura Comercial ARALAB - FITOTERM - Gelo-degelo (2009) - ARALAB, Portugal.
22. CO.FO.ME.GRA. @ (2009). <http://www.cofomegra.it/>, Itália.
23. ASTM (2008). "Standard Practice for Exposure of Adhesive Specimens to Artificial Light.", D 904 - 99, American Society for Testing and Materials, USA.
24. INSTRON @ (2009). <http://www.instron.com/>, EUA.
25. Regulamentos (2007). "Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes.", Porto Editora, Portugal.
26. Cocca, M. et al. (2006). "Water dispersed polymers for textile conservation: a molecular, thermal, structural, mechanical, and optical characterization." *Journal of Cultural Heritage*, 7: 236-243.

## ANEXO A

No presente anexo figuram os resultados detalhados dos valores de rotura, e os seus valores médios, obtidos através dos três tipos de ensaio efectuados, corte (C), flexão sob carga positiva (F), flexão sob carga negativa (A). As colunas a cinzento representam a numeração interna atribuída a cada provete.

**-20±0,5°C / 90±2% HR**

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
-20	90	C	253	3357,70	267	3280,00	283	6405,90
			292	4178,30	277	4730,40	282	4068,90
			270	3953,50	279	3862,50	251	3954,10
			269	2899,50	278	4116,10	271	4931,70
			288	4998,60	284	4679,20	252	2955,50
		$\bar{x}$	3877,52		4133,64		4463,22	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
-20	90	F	189	458,10	199	422,00	209	552,60
			190	497,00	200	469,10	210	567,60
			191	399,60	201	376,30	211	534,20
			192	512,40	202	355,80	212	536,00
			193	472,40	203	402,90	213	505,80
		$\bar{x}$	467,90		405,22		539,24	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	N° de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
-20	90	A	194	668,90	204	595,80	214	689,70
			195	676,80	205	556,40	215	754,40
			196	774,60	206	645,50	216	722,70
			197	774,90	207	792,40	217	726,60
			198	-	208	575,30	218	745,50
		$\bar{x}$			723,80		633,08	

**23±0,5°C / 50±2% HR**

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	N° de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
23	50	C	266	5031,50	280	6883,70	300	8015,30
			275	3576,00	285	7425,10	301	8945,40
			298	2978,00	291	6363,10	302	8593,10
			315	3799,10	299	5773,40	305	8529,40
			316	3787,60	313	5809,50	306	8081,70
		$\bar{x}$			3834,44		6450,96	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	N° de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
23	50	F	149	298,70	219	417,70	229	490,10
			150	300,20	220	337,90	230	366,00
			151	453,80	221	392,30	231	612,40
			152	385,30	222	412,20	232	481,70
			153	449,60	223	349,80	233	894,60
		$\bar{x}$			377,52		381,98	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
23	50	A	154	728,40	224	631,30	234	665,10
			155	821,10	225	626,80	235	790,00
			156	651,30	226	554,80	236	729,70
			157	813,40	227	540,20	237	751,50
			158	727,00	228	571,30	238	720,00
		$\bar{x}$			748,24		584,88	

**40±0,5°C / 50±2% HR**

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
40	50	C	250	8850,90	272	8315,50	246	10000,50
			262	5359,80	260	8735,40	247	8734,50
			265	6085,30	264	3086,60	248	9996,30
			273	7694,30	263	7953,30	249	9211,10
			276	9046,40	261	7034,40	259	7847,00
		$\bar{x}$			7407,34		7025,04	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
40	50	F	159	450,60	169	334,10	179	473,10
			160	546,30	170	531,70	180	655,50
			161	423,00	171	518,30	181	540,20
			162	649,20	172	572,00	182	669,50
			163	564,70	173	586,40	183	703,20
		$\bar{x}$			526,76		508,50	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
40	50	A	164	650,00	174	571,80	184	537,10
			165	712,30	175	571,20	185	704,30
			166	654,70	176	567,70	186	783,20
			167	697,80	177	551,50	187	829,40
			168	734,30	178	581,00	188	774,70
		$\bar{x}$			689,82		568,64	

**70±0,5°C / 50±2% HR**

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
70	50	C	433	8939,10	438	13600,00	443	10985,70
			434	11642,50	439	10268,70	444	10282,80
			435	11263,00	440	11304,70	445	9302,60
			436	10613,90	441	11127,80	446	6141,60
			437	10907,30	442	11762,70	447	8203,20
		$\bar{x}$			10673,16		11612,78	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
70	50	F	364	766,30	359	425,40	379	486,40
			365	746,20	360	467,80	380	421,10
			366	652,80	361	512,50	381	410,70
			367	729,40	362	480,50	382	396,00
			368	648,40	363	360,30	383	546,80
		$\bar{x}$			708,62		449,30	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
70	50	A	369	717,10	374	550,30	384	602,10
			370	762,10	375	664,10	385	647,70
			371	855,80	376	575,50	386	623,80
			372	663,40	377	646,00	387	558,60
			373	738,80	378	593,60	388	614,20
		$\bar{x}$			747,44		605,90	

**70±0,5°C / 90±2% HR**

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
70	90	C	448	8939,50	453	6966,00	458	6544,60
			449	7227,50	454	8929,60	459	5647,98
			450	8875,30	455	6673,40	460	6684,63
			451	7873,60	456	8708,60	461	6218,87
			452	9027,90	457	8425,90	462	6518,99
		$\bar{x}$			8388,76		7940,70	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
70	90	F	389	662,90	399	504,90	415	325,50
			390	595,60	400	349,00	416	327,60
			391	578,50	401	451,30	417	273,40
			392	726,80	402	404,00	418	366,00
			393	728,50	403	396,10	419	214,89
		$\bar{x}$			658,46		421,06	

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	N° de série dos provetes					
			Carga Rotura (N)					
			1 Semana		2 Semanas		4 Semanas	
70	90	A	394	777,70	404	600,30	409	561,80
			395	674,50	405	710,40	410	609,20
			396	797,00	406	598,60	411	584,30
			397	716,50	407	650,50	412	581,50
			398	755,50	408	547,00	413	546,50
		$\bar{x}$			744,24		621,36	

### Solarbox

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	N° de série dos provetes	
			Carga Rotura (N)	
			1 Semana	
"Solar Box"		C	287	9400,70
			274	10000,10
			463	7731,75
			464	8269,67
			465	13666,90
		$\bar{x}$		9813,82

### Gelo-degelo

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	N° de série dos provetes	
			Carga Rotura (N)	
			1 Semana	
Gelo-degelo		C	281	4009,70
			290	6020,30
			306	5088,30
			312	4755,70
			314	6814,90
		$\bar{x}$		5337,78



Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes	
			Carga Rotura (N)	
			1 Semana	
Gelo-degelo		F	239	478,30
			240	371,70
			241	487,30
			430	495,70
			431	323,20
		$\bar{x}$		431,24

Temp. (°C)	H.R. (%)	Tipo	Nº de série dos provetes	
			Carga Rotura (N)	
			1 Semana	
Gelo-degelo		A	242	630,70
			243	487,70
			244	498,80
			245	607,20
			432	701,50
		$\bar{x}$		dfsdf,18