FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

"DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO PARA FACHADAS VENTILADAS"

Márcio Manuel Ferreira da Cunha

Licenciado em Engenharia Civil pela Universidade do Minho

Dissertação submetida para satisfação do grau de Mestre do

Mestrado em Construção de Edifícios

Dissertação realizada sob a supervisão do

Professor Doutor Rui de Sousa Camposinhos,

Departamento de Engenharia Civil

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Porto, Dezembro de 2006

Agradecimentos

A natureza deste trabalho foi conseguida com o apoio de diversas pessoas e instituições. A todos manifesto a minha gratidão deixando aqui expresso um especial agradecimento:

Ao Professor Doutor Rui de Sousa Camposinhos, orientador deste trabalho, pelas sábias sugestões proferidas e por todo o seu empenho e dedicação na elaboração deste projecto.

À "Gomes da Cunha Construções S.A.", e em particular ao Sr. Gomes da Cunha, por ter acolhido e apoiado este projecto.

À "Ribeiro Lda.", e em particular aos seus administradores, Neca, Hernâni e Silvério, por acreditarem no projecto e se disponibilizarem na ajuda sempre que necessário.

Ao Eng. Elísio Rocha, pela sua atenção e participação em importantes tomadas de decisão.

À família, em particular pais e irmãos, pelo seu incondicional apoio e incentivo ao longo de todos estes anos.

Aos amigos e colegas pelas sucessivas palavras de incentivo.

À Aline Rodrigues, pelo seu constante encorajamento, e pela possível dedicação nesta fase tão difícil e importante da nossa vida.

A todos,

O meu muito obrigado.

RESUMO

Esta dissertação apresenta o estado da técnica em fachadas ventiladas, com a possibilidade de acolher diversos tipos de material para o revestimento, com especial atenção para as placas de grés porcelânico. São focados todos os aspectos importantes, desde a elaboração do projecto até à montagem desta tipologia de sistemas construtivos para o revestimento de fachadas.

Procura-se estabelecer os principais conceitos e definições sobre as fachadas ventiladas, abordando as principais características e propriedades dos componentes, elementos construtivos e dispositivos utilizados, como também os principais requisitos a ser considerados na fase de elaboração do projecto.

São destacadas as vantagens relativas desta tecnologia construtiva quando comparada aos revestimentos tradicionais colados, ressaltando a sua importância como alternativa e potencialidades, quando comercializada como um sistema de produção.

Após ensaios laboratoriais, é desenvolvido um sistema construtivo de fixação protótipo de acordo com os requisitos exigênciais normativos, sendo, posteriormente, aplicado na realidade de uma obra nacional.

Acredita-se ser este, um dos primeiros trabalhos académicos elaborados em Portugal sobre este assunto, pretendendo-se contribuir para a implantação deste tipo de sistema construtivo no país, tanto na construção de edifícios novos, como na reabilitação de edifícios antigos.

RESUME

This dissertation after a brief resume of the state-of-art of curtain walls façades, with the ability to support several type of cladding, especially those related with porcelain ceramic tiles. All the issues are dealt from the design and project, to the construction works and assembly of the cladding.

In this document, the main principles and definitions are stated in what is concerned with open curtain walls and their structural components and accessories to receive the cladding are dealt too in detail, under the perspective of their physical and mechanical behaviour.

A prototype system is developed after some laboratory experiments. This system consists of a main mullion profile in aluminium alloy of the 6063 class, in which other components are clamped to receive the cladding material.

All the system is verified through calculations, according to the related European codes and standards.

In the final part, the advantages of this system are highlighted against the traditional cement based supported cladding.

A real case is studied and documented, through a photography report of a new façade system applied to a new residential building.

It's supposed to be one of the first master dissertations on this matter, and with laboratory experiment in Portugal. Conclusions are made in the end and a future perspective for further developments.

Índice Geral

AGRADECIMENTOS **3**

RESUMO **5**

ÍNDICE GERAL **9**

1 INTRODUÇÃO **13**

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO 13
1.2 OBJECTIVOS 15

2 CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS **17**

2.1 EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL 17
2.2 FACHADA CORTINA E FACHADA VENTILADA 18
2.3 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS VENTILADAS 19
2.3.1 Segundo o processo de fabrico e montagem 19
2.3.2 Segundo os dispositivos de fixação 20
2.3.3 Segundo o material empregue no revestimento 24
2.4 VANTAGENS COMPARATIVAS 34
2.4.1 Vantagens técnicas 34
2.4.2 Vantagens Comerciais 37
2.4.3 Casos de aplicação 38

3 CONSIDERAÇÕES DE PROJECTO **39**

3.1 BASE SUPORTE DE FIXAÇÃO 44
3.1.1 Paredes de Alvenaria em tijolo / Estrutura em Betão armado 44
3.1.2 Movimentos Estruturais 45
3.1.3 Expansão e contracção térmica 46
3.2 ISOLAMENTO TÉRMICO 47
3.2.1 Poliuretano projectado 50
3.2.2 Poliestireno extrudido 52
3.3 CAIXA-DE-AR 54
3.3.1 Fachada cortina com caixa-de-ar estanque 55
3.3.2 Fachada cortina com caixa-de-ar não estanque (fachada ventilada) 55
3.4 SEGURANÇA AO FOGO 57
3.5 ESCOLHA DO REVESTIMENTO EM PLACAS DE GRÉS PORCELÂNICO 59
3.6 A ESTEREOTOMIA DA FACHADA 62
3.7 O PROJECTO DE FACHADA VENTILADA EM PLACAS DE GRÉS PORCELÂNICO 63
3.7.1 Juntas entre componentes 64
3.7.2 Dimensionamento da estrutura de suporte 68
3.7.3 Dispositivos de fixação 80

4 PREPARAÇÃO E CONTROLO DA EXECUÇÃO **83**

4.1 ELABORAÇÃO DO PROJECTO DA FACHADA 83
4.2 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS 85
4.3 TRANSPORTE, MANUSEAMENTO, ARMAZENAGEM E DISTRIBUIÇÃO DAS PEÇAS 91
4.4 DIMENSIONAMENTO DA EQUIPA DE PRODUÇÃO 92
4.5 CONDIÇÕES PARA O INÍCIO DA MONTAGEM 93
4.6 CONTROLO 93

4.6.1 Controlo de qualidade na execução 94
4.6.2 Controlo de qualidade na aceitação 96

5 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO PROTÓTIPO PARA FACHADAS VENTILADAS 97

5.1 DETALHES GERAIS DO SISTEMA DESENVOLVIDO 97
5.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA INTERNA DE SUPORTE 104
5.2.1 Perfil dimensionado 104
5.2.2 Esquema estrutural adoptado 105
5.2.3 Verificação do Estado Limite de Utilização 105
5.2.4 Verificação do Estado Limite de Ultimo de Resistência 113
5.3 DIMENSIONAMENTO DOS PARAFUSOS E ANCORAGENS 122
5.3.1 Reacções nos apoios obtidas no dimensionamento 122
5.3.2 Dimensionamento dos parafusos ao corte 123
5.3.3 Dimensionamento dos parafusos à tracção 123
5.3.4 Verificação da interacção corte / tracção nos parafusos 124
5.3.5 Verificação do destacamento do betão por cone de rotura em tracção 124
5.3.6 Verificação do arrancamento e corte das buchas mecânicas para o betão 125
5.3.7 Verificação do destacamento do betão por corte 126
5.4 VERIFICAÇÃO DAS PLACAS DE REVESTIMENTO À FLEXÃO E CORTE .. 127
5.4.1 Características da secção e do material da placa de revestimento 127
5.4.2 Verificação da placa de revestimento à flexão 127
5.4.3 Verificação da placa de revestimento ao corte 128
5.5 ENSAIOS À FLEXÃO DO PERFIL DIMENSIONADO EM LABORATÓRIO ... 129
5.5.1 Esquema estrutural adoptado 129
5.5.2 Cargas de ensaio esperadas 130
5.5.3 Deformações de ensaio esperadas 131
5.5.4 Diagramas de carregamento (kN) 132
5.5.5 Diagramas de esforço de corte (kN) 132
5.5.6 Diagramas de Momentos flectores (kN.m) 133
5.5.7 Reacções nos apoios (kN) 133
5.5.8 Deformadas do perfil (mm) 134
5.5.9 Resultados obtidos no ensaio do perfil P1 135
5.5.10 Resultados obtidos no ensaio do perfil P2 137
5.5.11 Resultados obtidos no ensaio do perfil P3 139
5.5.12 Resultados obtidos no ensaio do perfil P4 141
5.5.13 Resultados obtidos no ensaio do perfil P5 143
5.5.14 Resultados obtidos ao atingir a tensão de cedência esperada 145
5.5.15 Resultados estimados ao atingir a tensão de cedência esperada 145
5.5.16 Resultados obtidos ao atingir a tensão de cedência real 146
5.5.17 Registo fotográfico dos ensaios 147
5.6 ENSAIOS "IN SITU" DAS ANCORAGENS AO ARRANCAMENTO E AO CORTE 152
5.6.1 Tipos de ensaios realizados 152
5.6.2 Resultados obtidos no ensaio 152
5.6.3 Registo fotográfico dos ensaios 153
5.7 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL E COMPARATIVA 161
5.7.1 Obra a realizar 161
5.7.2 Estimativa orçamental da fachada ventilada 163
5.7.3 Estimativa orçamental da fachada tradicional 164

5.8 MONTAGEM DO SISTEMA PROTÓTIPO DE FACHADA VENTILADA DESENVOLVIDO 165
5.8.1 Marcação 166
5.8.2 Posicionamento das ancoragens e cantoneiras 167
5.8.3 Instalação dos perfis de alumínio 169
5.8.4 Aplicação do isolamento térmico 170
5.8.5 Preparação das placas de revestimento 171
5.8.6 Colocação dos suportes de fixação e das placas de revestimento 172
5.8.7 Registo fotográfico da montagem da fachada desenvolvida 174

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A fachada é um elemento fulcral para a valorização de um edifício. As suas funções assumem um papel mais amplo, pelo facto desta, juntamente com a cobertura, constituírem o invólucro da edificação e, portanto, serem responsáveis pela manutenção das condições ambientais internas como é o caso do conforto térmico, conforto acústico, manutenção dos níveis de segurança ambiental e estrutural, além da privacidade dos usuários.

Estando exposta aos diversos agentes climáticos, a fachada é bastante solicitada por movimentos de contracção e dilatação, provenientes de acções higro-térmicas que actuam principalmente no seu revestimento. Independentemente da natureza do material, os agentes actuantes sobre as superfícies externas dos edifícios são:

- Forças e cargas de impacto;
- Fogo;
- Ar e gases;
- Humidade;
- Poeira;
- Animais;
- Plantas e microrganismos;
- Temperatura ambiente;
- Radiação;
- Luz e vibrações.

Assim sendo, os principais agentes de degradação dos revestimentos das fachadas nos edifícios, são aqueles que estão directamente relacionados com a agressividade do clima, devendo-se salientar que a combinação destes agentes climáticos, provoca uma degradação muito maior do que a actuação isolada de cada um.

Com vista a responder de forma cada vez mais eficaz às exigências, face à resposta insuficiente que as fachadas tradicionais têm tido perante estas solicitações, têm sido estudados novos métodos, processos e tecnologias para a aplicação de sistemas construtivos, de forma a minimizar ou até mesmo eliminar as patologias resultantes dessa resposta insuficiente.

Tem-se observado um esforço, por parte das empresas e projectistas, em procurar soluções com base em novos materiais e tecnologias construtivas, incorporando uma maior valorização estética, de forma a incrementar a produtividade e reduzir a incidência de manifestações patológicas. A complexidade decorrente da ligação entre as diversas camadas do revestimento, tem originado por outro lado, soluções de fixação dos diversos componentes e ao mesmo tempo a criação de barreiras de ar.

Em Portugal existem vários produtos e sistemas para a aplicação de revestimentos descontínuos em fachadas, solução que futuramente predomina, mas que infelizmente não tem tido o acompanhamento técnico e informativo que permita aos projectistas e contructores, uma adequada escolha e decisão. Essa falta de suporte técnico que existe na divulgação destes sistemas construtivos de fachada ventilada existentes no mercado, acaba por causar, por inúmeras vezes, indecisão nos projectistas e construtores, na correcta avaliação do sistema ideal para uma determinada solução.

Os principais factores que devem ser levados em consideração quando da opção por um determinado sistema de fachada, são a comercialização, garantia de desempenho, flexibilização, facilidade de aplicação, reparação, durabilidade e economia de manutenção.

Um sistema construtivo de fachada ventilada deve resultar de um processo analítico, conduzido por um método bem definido, adequado às exigências já referidas, permitindo que se possa abordar entre outros os seguintes aspectos:

- Identificar todas as condicionantes a considerar, como por exemplo o custo inicial, o prazo de execução, a valorização estética, a segurança estrutural e o custo na manutenção;
- Identificar os tipos de revestimento potencialmente adequado a cada situação;
- Para cada uma das características condicionantes dos revestimentos, definir a importância relativa no desempenho da fachada;
- Estabelecer as exigências em relação às condicionantes que foram identificadas, definindo limites e restrições específicas;
- Parametrizar cada sistema de revestimento e seu suporte, de acordo com as condicionantes identificadas, definindo os limites e as restrições específicas;
- Parametrizar cada uma das tipologias em relação às condicionantes, estabelecendo conceitos para elas, relativos ao atendimento das exigências;
- Considerando as análises feitas anteriormente, é então definida, em projecto, a tipologia de revestimento a ser utilizada.

1.2 OBJECTIVOS

A atenção dedicada à envolvente das construções, é crescente pelo reconhecimento da sua importância para o comportamento dos edifícios. O tipo de sistema construtivo escolhido para a globalidade de uma fachada, tem um papel crucial no desempenho final da envolvente, não só pela sua expressão, mas também porque são correntemente elementos construtivos potenciadores da ocorrência de anomalias. Com o desenvolvimento crescente de vários sistemas construtivos de fachada ventilada, é necessário identificar as características fundamentais que condicionam cada sistema, permitindo assim, uma escolha fundamentada do sistema que melhor se adapta a cada situação.

É desenvolvido um sistema construtivo para fachadas ventiladas, de acordo com os requisitos exigênciais e normativos estabelecidos, tendo em conta as mais valias apresentadas pelos sistemas de fachada ventilada existentes.

É feita a comprovação experimental do desempenho do sistema construtivo adoptado, em termos de resistência mecânica, pois é uma das formas mais poderosas de avaliação, que verifica o dimensionamento e desenvolvimento teórico. A análise de casos de estudo cujos protótipos serão ensaiados, constituirá a oportunidade para validar aspectos analisados e formular algumas conclusões.

Por último, apresenta-se uma análise económica comparativa entre o sistema construtivo desenvolvido, as fachadas tradicionais com revestimentos aderentes, assim como com os diversos sistemas concorrenciais de fachada ventilada, actualmente à venda no mercado, por forma a identificar com precisão, a viabilidade económica do projecto em questão.

Inserido neste contexto, este trabalho apresenta as principais directrizes para o desenvolvimento de sistemas construtivos de fachadas ventiladas, desde a fase de projecto até à sua produção. Procura demonstrar que a sua implantação deve ser acompanhada, necessariamente, da adequação à realidade específica de cada obra, devendo-se desenvolver uma metodologia de gestão e controlo do processo de produção, definição dos aspectos de comercialização e garantia de desempenho.

2 CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS

No presente capítulo, é feita uma breve caracterização dos diferentes sistemas de fachada em Portugal e sua evolução histórica.

Após uma definição dos conceitos de fachada ventilada e fachada cortina, é apresentada a sua classificação e são enumeradas as suas vantagens competitivas.

2.1 EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL

Ao longo dos anos, com o avanço da técnica e das exigências de conforto, registou-se uma constante evolução nas soluções construtivas de paredes exteriores de fachada. Inicialmente, a solução de fachada passava por paredes simples monolíticas, em pedra ou tijolo cerâmico maciço. Com o passar dos anos, assistimos a uma inversão de pensamentos, com o aligeiramento dos paramentos, a redução da espessura e da massa dos materiais, a introdução da parede dupla e a utilização de uma nova variedade de materiais aliada à preocupação com o conforto térmico, acústico e higrométrico. A figura seguinte ilustra a evolução das alvenarias ao longo dos anos em Portugal.

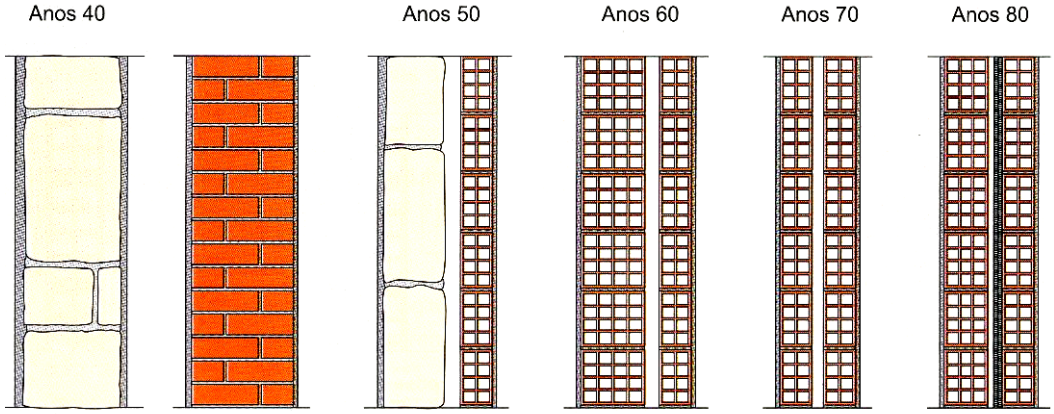


Figura 1 – Evolução das alvenarias ao longo dos anos em Portugal [1]

Por volta dos anos 90, surge uma técnica construtiva que rompe completamente com as tendências anteriores. A colocação do isolamento térmico pelo exterior, como procura da correcção de patologias originadas pelas pontes térmicas em sistemas anteriores, deu origem a dois sistemas:

- Sistema ETICS – Reboco delgado armado directamente aplicado sobre o isolamento térmico;

[1] Manual de Alvenaria de Tijolo - 2000

- Sistema de fachada cortina – Revestimentos descontínuos fixados ao suporte, através de uma estrutura intermédia;

A figura seguinte ilustra a evolução das alvenarias a partir dos 90 em Portugal.

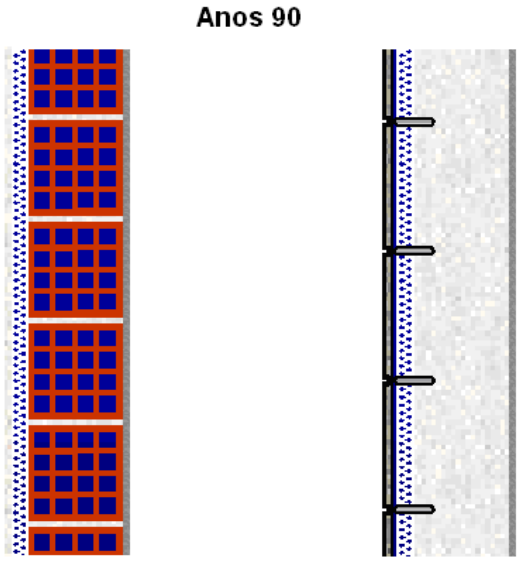


Figura 2 – Sistema ETICS e fachada cortina em Portugal (Anos 90)

2.2 FACHADA CORTINA E FACHADA VENTILADA

Numa primeira abordagem, é necessário identificar com rigor as diferenças existentes entre os termos "fachada-cortina" e "fachada ventilada". No contexto do presente trabalho, adoptar-se-á o termo fachada-cortina para designar:

- Sistema formado por placas ou painéis fixados exteriormente à base, através de uma sub estrutura auxiliar constituindo-se no revestimento exterior de uma edificação, ou seja, na envolvente.

A caixa-de-ar da fachada-cortina ("cavity" em inglês), pode ser projectada de forma a ser estanque ou ventilada, sendo a responsável pelo desempenho higrotérmico da envolvente, promovendo a interrupção da capilaridade e formando um espaço livre para a drenagem por gravidade. Quando projectada para ter a sua cavidade permanentemente ventilada, a fachada cortina auxilia também na remoção da humidade, devido ao constante fluxo de ar.

Relativamente ao termo de fachada ventilada, o mesmo será usado para denominar:

- Fachada ventilada é uma fachada-cortina dimensionada de forma a permitir a remoção do ar aquecido da zona inferior da caixa-de-ar pelo chamado efeito chaminé.

Uma tecnologia que se traduz numa etapa evolutiva da fachada ventilada é a fachada pressurizável, em que a caixa-de-ar se encontra estrategicamente compartimentada, de forma a equilibrar as diferenças de pressão entre o interior e o exterior ("rain-screen wall"). Este conceito será, posteriormente, desenvolvido em secção própria.

2.3 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS VENTILADAS

Para identificar as diversas tipologias de fachadas ventiladas é importante procurar inicialmente classificá-las.

2.3.1 Segundo o processo de fabrico e montagem

As fachadas ventiladas, são classificadas segundo o seu processo de produção em:

- Montadas em obra;
- Pré-fabricadas.

As montadas em obra são aquelas construídas no próprio estaleiro de obras, que utilizam geralmente como suporte uma estrutura auxiliar, uma parede, ou uma fixação leve de aço. O sistema da estrutura poderá ser em ferro, aço ou alumínio, podendo ser estruturado em perfis verticais e travessas horizontais. A figura seguinte mostra um tipo de fachada ventilada montada em obra.



Figura 3 – Fachada ventilada montada em obra

Já as fachadas pré-fabricadas, também chamadas de fachadas modulares, são aquelas construídas em fábricas e transportadas para o local de aplicação já concluídas. É concretizada a sua

aplicação com o auxílio de gruas especiais que permitem prender as placas à estrutura do edifício, inicialmente por meio de ancoragens rápidas, que permitem posteriormente ajustar o prumo e a posição dos painéis, sendo fixados definitivamente por intermédio de solda ou parafusos.

A figura seguinte mostra a montagem de uma fachada ventilada pré-fabricada.



Figura 4 – Fachada ventilada pré-fabricada

2.3.2 Segundo os dispositivos de fixação

As fachadas ventiladas podem ser classificadas, quanto aos dispositivos utilizados para a fixação das placas de revestimento, ou quanto aos dispositivos empregues na ancoragem da fachada ao edifício.

Designa-se por fachada fixada por acoplamento visível, as fachadas em que os dispositivos utilizados para prender as placas de revestimento (“clips”) ficam expostos, conforme se observa na figura seguinte.



Figura 5 – Fachada ventilada fixada com acoplamento visível

Nas fachadas com acoplamento oculto, os dispositivos de fixação das placas não ficam expostos no revestimento acabado, sendo inseridos geralmente no tardoz da placa, ou na espessura da mesma, quando esta possua espessura suficiente, como se verifica nas figuras seguintes:



Figura 6 – Fachada ventilada fixada com acoplamento oculto no tardoz da peça (grés porcelânico)



Figura 7 – Fachada ventilada fixada com acoplamento oculto no tardoz da peça (cerâmico)

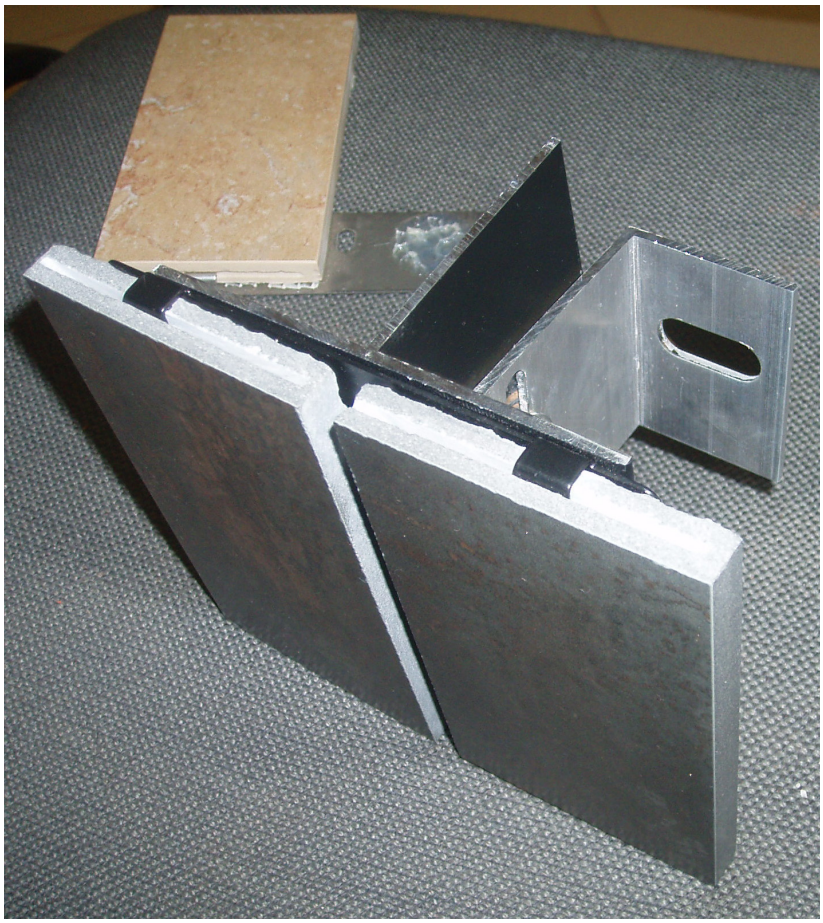


Figura 8 – Acoplamento oculto na espessura da peça (grés porcelânico)



Figura 9 – Fachada ventilada fixada com acoplamento oculto na espessura da peça (granito)

2.3.3 Segundo o material empregue no revestimento

Outra forma de classificação das fachadas ventiladas é através do material utilizado para compor o seu revestimento. Os materiais mais utilizados actualmente na indústria da construção civil para revestimentos exteriores são:

- Revestimento com placas de alumínio composto;
- Revestimento com placas de pedra natural;
- Revestimento com placas cerâmicas;
- Revestimento com placas de grés porcelânico.

2.3.3.1 Revestimento com placas de alumínio composto

O "Aluminum Composite Material" (ACM) é obtido através da laminação do alumínio em duas chapas sob tensão controlada com um núcleo de polietileno de baixa densidade.

A placa é coberta por uma camada de pintura aplicada por rolos electrostáticos, podendo ser inseridas camadas com os mais variados acabamentos. As placas de alumínio composto à venda em Portugal, podem ser encontradas com espessuras que variam entre 3, 4, 5, 6, 8 e 10mm.



Figura 10 – Placa de alumínio composto

2.3.3.2 Revestimento com placas em pedra natural

De todos os materiais de revestimento disponíveis, o que requer menos industrialização, porém mais utilizado, são as placas em pedra natural.

Neste tipo de revestimento, verifica-se que a fixação das placas é feita quase que exclusivamente por ancoragens pontuais, directamente encaixadas através de perfurações executadas na sua espessura, que evitam quase por completo a estrutura auxiliar de suporte. Esta condição diminui o custo do sistema de fachada ventilada, porém, aumenta significativamente a quantidade de fixações ancoradas directamente ao suporte, contribuindo consequentemente, para a possibilidade da ocorrência de colapso nas fixações, sendo necessário um controlo muito mais rigoroso em relação à resistência ao arrancamento dessas peças, além de provocar diminuição significativa da produtividade e facilitar o improviso em obra. A figura seguinte mostra este sistema de fixação pontual para placas em pedra natural.

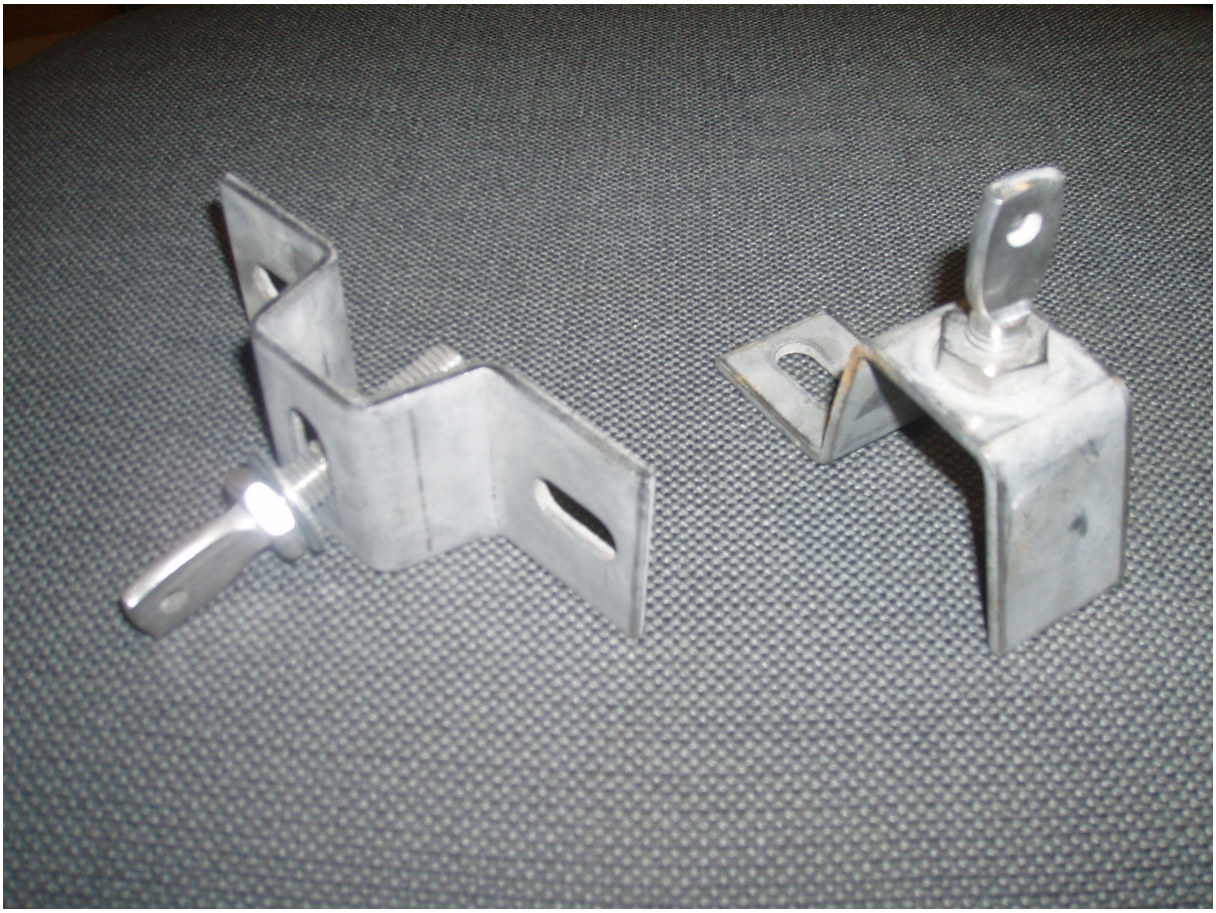


Figura 11 – Sistema de fixação pontual para placas em pedra natural

As placas em pedra natural não estão, necessariamente, restringidas aos apoios em suportes pontuais. Podem também ser aplicadas sobre sistemas contínuos, apoiados em perfis que podem receber “clips” de suporte.

Outra condicionante deste material é o risco de congelamento e descongelamento da água depositada nas fendas de encaixe do suporte. Nos climas frios que provocam o surgimento de tensões pontuais no contacto entre o aço e a pedra, é necessário utilizar um material cujas características evitem o contacto directo entre estes dois materiais.

Por outro lado, uma parte dos materiais pétreos, utilizados na execução de fachadas, sofre um comportamento característico frente às precipitações, absorvendo rapidamente a água por capilaridade e eliminando-a, de maneira muito lenta, através da evaporação.

A retenção da água nos poros da pedra pode afectar a sua durabilidade de duas formas. As baixas temperaturas provocam o congelamento da água acumulada nos capilares, provocando a ruptura dos mesmos e a consequente desagregação da pedra. Para além disso, a água dissolve as substâncias constituintes da pedra, transformando-as em sais que quando transportados para a superfície, cristalizam-se, dando origem às manchas por eflorescência. Estas mudanças na textura e cor das pedras expostas às condições atmosféricas, dependem muito também do grau de poluição atmosférica da zona onde se encontra o edifício e da sua orientação solar. Todos estes factores devem ser considerados, desde a fase de projecto ou da fase de selecção do material para o revestimento.

Para além dos aspectos estéticos, é necessário ter em conta:

- Características petrográficas que eventualmente possam influir na durabilidade da pedra, tais como estado microfissural, presença de materiais deletérios e alterados;

- Propriedades mecânicas e físicas da pedra;

- Porosidade e a absorção de água;

- Viabilidade da pedra ser submetida a processos de transformação, necessários à obtenção dos aspectos desejados (superfície polida, serrada, picada, etc.);

- Alterações na aparência, a que as placas estarão sujeitas.

Os orifícios nos cantos das placas em pedra natural, devem ser executados por pessoal especializado com equipamento apropriado, normalmente em marmoristas e nunca em obra, evitando-se assim problemas sérios, relacionados com a excentricidade e o diâmetro excessivo dos furos, o que pode prejudicar a resistência da parede da placa, e por outro lado, comprometer a estabilidade e segurança da peça. Este tipo de fixação em placas de pedra natural, não deve ser utilizado em placas com espessura inferior a 30mm.

2.3.3.3 Revestimento com placas cerâmicas

As placas cerâmicas de grandes dimensões são bastante competitivas, quando comparadas aos demais materiais utilizados para a execução de fachadas ventiladas. As dimensões mais utilizadas para esta tipologia de revestimento de fachada variam de 300mm x 600mm a 600mm x 1200mm, sendo as placas fixadas ao edifício, através de estruturas auxiliares de suporte.

Dos diversos tipos de estrutura e materiais cerâmicos actualmente no mercado, para a execução de fachadas ventiladas, o mais recomendado é o Grés Porcelânico, com uma absorção de água inferior a 0,5%, que será caracterizado na secção seguinte.

O sistema de revestimento de placas cerâmicas, com estruturas auxiliares, oferece um bom desempenho face às acções do vento, uma vez que possui:

- Elevada resistência ao arrancamento dos fixadores e ao impacto (porém, para evitar que, quando um objecto atinja o revestimento com força suficiente para provocar a ruptura dos seus componentes, deve ser aplicada uma tela de fibra de vidro, colada no tardoz da peça, que impeça a sua queda, evitando acidentes ou a ocorrência de maiores danos à fachada);
- Superfícies pouco rugosas, oferecendo menor resistência ao vento;
- Leveza de todo o sistema, pesando cerca de 30 Kgf/m^2, incluindo as placas, a estrutura auxiliar e todos os restantes acessórios, permitindo reduzir o peso da estrutura de suporte, além de facilitar a sua instalação.

O seu reduzido peso dispensa a utilização de equipamentos especiais para o transporte vertical das placas.

A figura seguinte mostra a utilização de placas cerâmicas, apoiadas numa estrutura auxiliar.

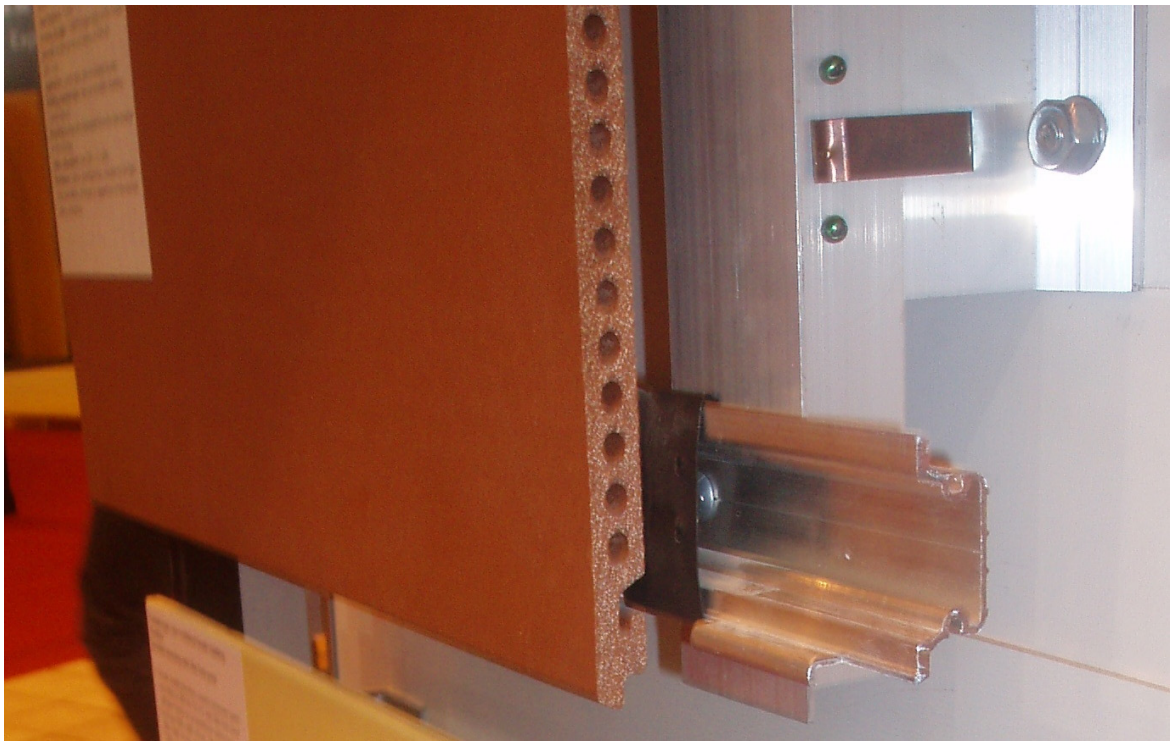


Figura 12 – Placas cerâmicas apoiadas no tardoz através de uma estrutura auxiliar

2.3.3.4 Revestimento com placas em grés porcelânico

A produção do grés porcelânico teve início nos anos 80, após o desenvolvimento do processo de queima rápida, ocorrida nos anos 70 e 80, que causou uma profunda mudança no sector da indústria cerâmica. Com o desenvolvimento do grés porcelânico e pelas características apresentadas, estes materiais atingiram patamares de domínio das pedras naturais, que possuem uma resistência à abrasão mais elevada do que a dos produtos cerâmicos esmaltados.

Entre as principais características apresentadas por este material, podem destacar-se a elevada resistência à abrasão, o baixo teor de absorção de água, a elevada resistência mecânica, a elevada resistência ao ataque químico (ácidos e álcalis), a elevada dureza, a resistência ao congelamento, a uniformidade de cores e a facilidade na manutenção.

De facto, o avanço tecnológico na produção do grés porcelânico possibilitou a introdução de um novo produto no mercado da indústria da construção civil, com características totalmente distintas das apresentadas pelas placas cerâmicas até então. A possibilidade de produção de peças com excelente precisão dimensional, com espessura desde 8mm e dimensões até 1200mm x 1200 mm, muito superiores àquelas que poderiam ser aplicadas em fachadas pelo processo tradicional, permite a sua aplicação em fachadas com inúmeras vantagens.

A utilização de placas de grés porcelânico, como componente de revestimento de fachadas ventiladas, deu-se inicialmente nos principais países europeus produtores de placas cerâmicas, num esforço para a introdução deste componente, em substituição das placas em pedra natural utilizadas até então.

Assim, o grés porcelânico tornou-se o principal concorrente das placas de pedra natural para a execução de fachadas ventiladas nos países do oeste europeu, apresentando as seguintes vantagens em relação às placas em pedra natural:

- Menor absorção de água;
- Menor massa;
- Material homogéneo (as placas pétreas devem ser escolhidas e separadas na jazida devido a apresentarem grande variedade de tonalidade e aspecto);
- Menor probabilidade no aparecimento de manchas;
- Menor controlo na recepção e na escolha dos materiais para a aplicação;
- Menores exigências para manutenção;
- Maior perspectiva de durabilidade.

A figura seguinte mostra diversas placas de grés porcelânico de 600mm x 1200mm.



Figura 13 – Placas de grés porcelânico de 600mm x 1200mm

Já existem alguns sistemas de fixação para este tipo de material no mercado. Diferem essencialmente, na forma de fixação da placa, na forma de fixação do perfil, e em consequência na forma como é executada a troca da placa em caso de quebra.

Nestes sistemas utilizam-se estruturas de perfis em alumínio, fixos ou deslizantes em cantoneiras reguláveis, que por sua vez são fixadas aos elementos estruturais e às paredes de suporte, através de ancoragens. São também utilizados dispositivos para promover o acoplamento das placas de grés à estrutura de suporte auxiliar em alumínio, podendo o sistema distinguir-se em duas variantes principais pela forma de fixação, visível ou oculto.

- Acoplamento visível:

Caracterizam-se pela alta produtividade na montagem, além de apresentarem uma solução mais versátil, flexível e económica pelo facto das placas não necessitarem de nenhum manuseamento prévio, pela facilidade de encaixe das placas e por dispensarem o uso de perfis horizontais (travessas), já que os “clips” de fixação são inseridos nos montantes.

A figura seguinte mostra um sistema de acoplamento visível.



Figura 14 – Sistema de acoplamento visível para placas com 20mm de espessura

- Acoplamento oculto:

Uma das estruturas que caracteriza esta forma de fixação é composta por ganchos de ancoragem fixados ao tardoz da placa cerâmica e por perfis verticais (montantes) e horizontais (travessas). Os ganchos são fixados por intermédio dos quatro parafusos (roscados às ancoragens inseridas no tardoz da placa), mediante porcas de aço inoxidável que se "auto-travam". A sua função é permitir o acoplamento entre a placa e a estrutura.

Existem também sistemas de acoplamento oculto, onde a estrutura necessária à fixação é basicamente a mesma do sistema de acoplamento visível. A diferença verifica-se nos suportes de fixação que são mais estreitos e na placa de revestimento onde é feita uma ranhura nos topos de forma a introduzir as patilhas dos suportes ("clips"). As figuras seguintes mostram estes dois tipos de acoplamento oculto em grés porcelânico.

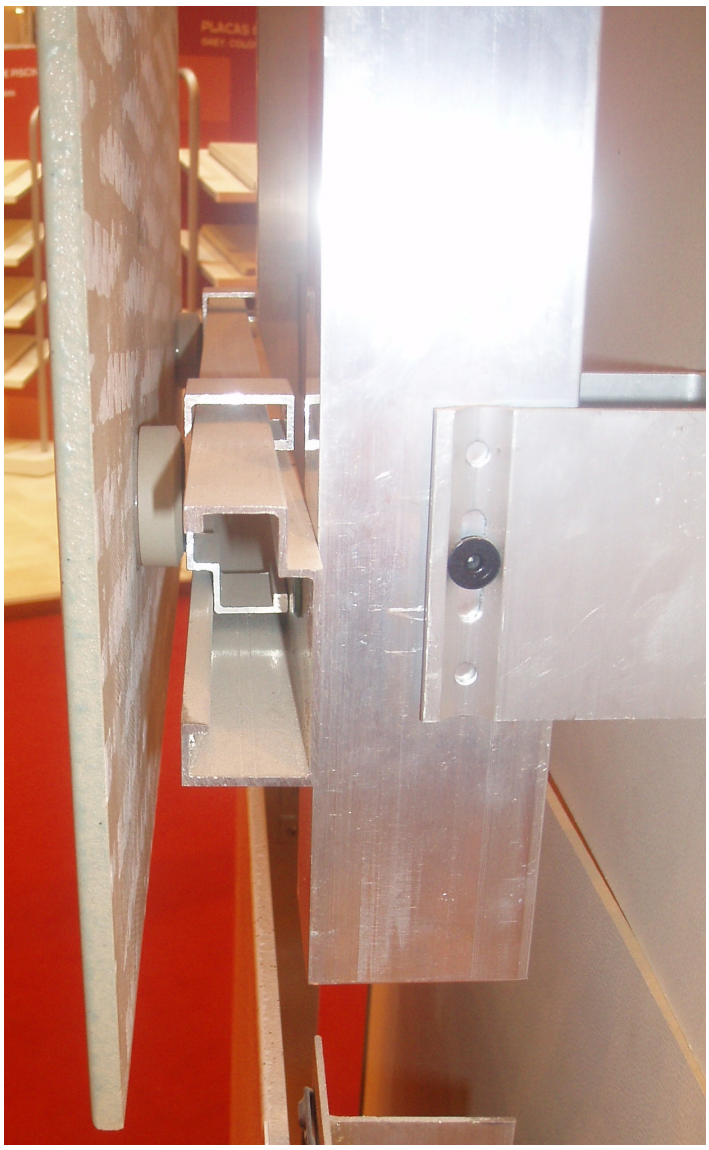


Figura 15 – Sistema de acoplamento oculto aplicado no tardoz de uma placa de grés porcelânico

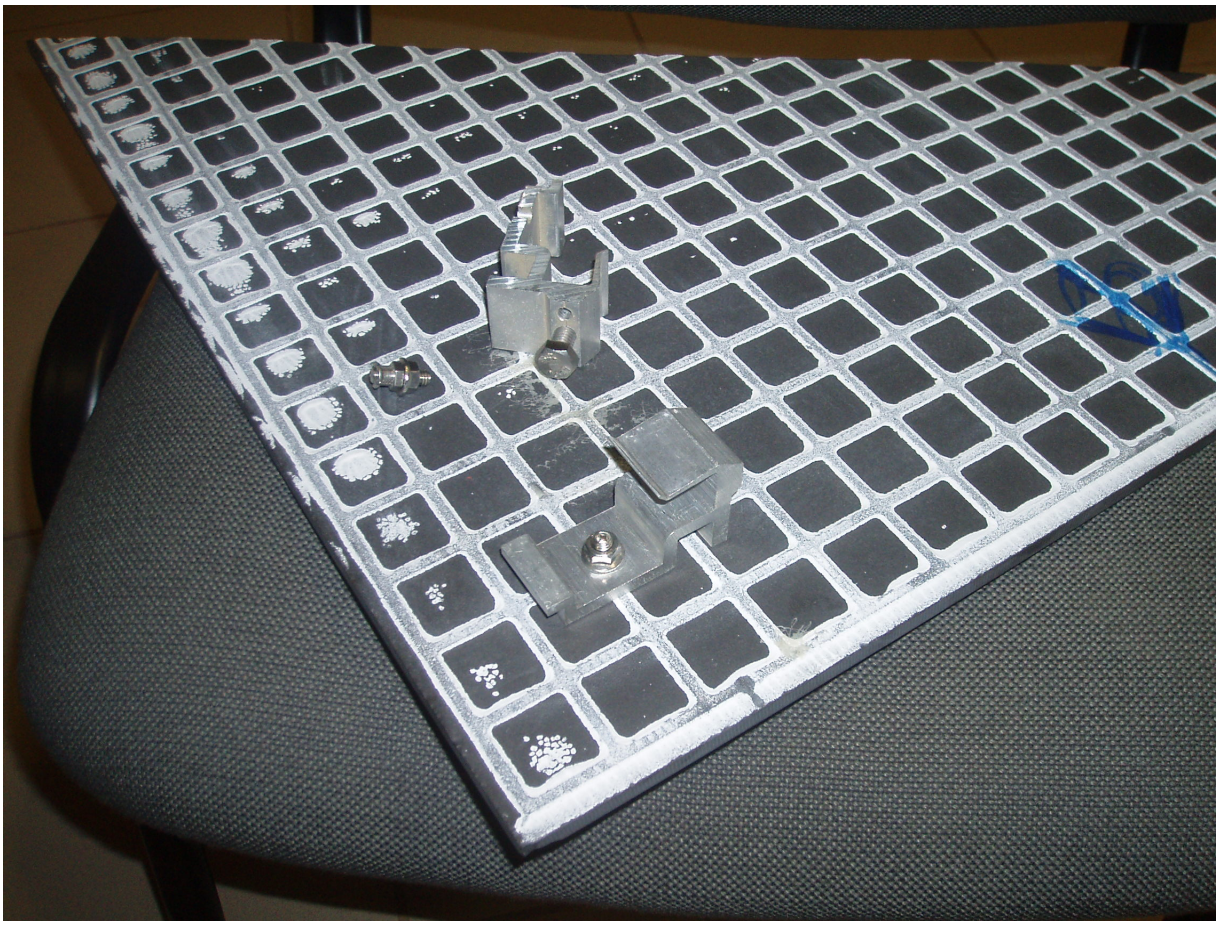


Figura 16 – Ganchos de fixação aplicados no tardoz de uma placa de grés porcelânico



Figura 17 – Sistema de acoplamento oculto aplicado na espessura da placa de grés porcelânico

Relativamente à segurança ao arrancamento das placas de revestimento, a mesma é função da secção da placa e da superfície de contacto do suporte de fixação com esta. Portanto, quanto maior for a espessura da placa e a largura do suporte de fixação, maior será a segurança da ligação. Uma fixação executada através da abertura de ranhuras na espessura da placa é menos eficiente que uma fixação executada por intermédio de "clips" que envolvem toda a espessura da peça.

2.4 VANTAGENS COMPARATIVAS

A escolha dos diversos sistemas construtivos a ser aplicados num determinado empreendimento, deve levar em consideração aspectos técnicos, de procura do mercado e de custo. Para se fazer uma escolha deve-se compreender as características principais, as exigências de cada tecnologia inovadora, além das suas deficiências e limitações.

2.4.1 Vantagens técnicas

O revestimento das fachadas tradicionais é constituído por diversas camadas de materiais heterogéneos, e portanto, com diferentes coeficientes de dilatação térmica. Quando solicitado por movimentações intrínsecas ou extrínsecas, as diversas camadas que compõem o revestimento, comportam-se de formas distintas, provocando o surgimento de tensões de corte na interface, originando fissuras, infiltrações de humidade, que comprometem o seu desempenho, acarretando a sua deterioração. Desta forma, a fachada, não satisfazendo as exigências preestabelecidas, compromete a valorização e a habitabilidade do edifício e o consequente desconforto dos utentes.

A difícil interligação entre a causa e o efeito da combinação de todos os factores que originam as referidas patologias, aliada à falta de mão-de-obra qualificada do sector, tem contribuído para o aumento das manifestações patológicas em fachadas com revestimentos colados, como é o caso das fachadas com revestimentos de argamassa areados e pintados, e principalmente os revestimentos com placas cerâmicas coladas que acabam por descolar.

A possibilidade de se promover a separação entre o revestimento e a base de fixação com a criação de uma caixa-de-ar, proporciona aos revestimentos não colados uma série de vantagens potenciais quando comparados com os revestimentos tradicionalmente aplicados, onde se destacam as seguintes:

- Na caixa-de-ar ventilada, as correntes de ar por convecção actuam como isolantes térmicos entre o exterior e as paredes do edifício;
- Diminuição no consumo de energia para o arrefecimento do ar no interior do edifício, com a colocação do isolamento térmico pelo exterior e a consequente eliminação das pontes térmicas;
- Diminuição dos efeitos da dilatação térmica na estrutura do edifício, reduzindo eventuais fissurações interiores;
- Potencial melhoria dos problemas de condensação interior;
- Melhoria no isolamento acústico devido à criação de uma caixa-de-ar, com um aumento considerável do índice de isolamento acústico;
- Diminuição sensível de problemas de infiltração de água, devido à separação existente entre o revestimento exterior e o pano adjacente, ou devido à eventual existência de isolamento térmico pelo exterior que protege o pano interior de eventuais fissurações de origem térmica;
- Melhoria do conforto térmico de Inverno, resultante do aumento da inércia térmica interior, dado que toda a massa da envolvente das paredes exteriores pode armazenar calor, absorvendo calor nas horas mais quentes do dia, para o restituir nas horas mais frescas durante a noite;
- Melhoria do conforto térmico de Verão, igualmente devido ao aumento da inércia térmica interior, atendendo a que as paredes têm um papel de regulação da temperatura.
- Facilidade de manutenção e substituição;
- Menor dependência da habilidade do operário (sistema de montagem industrializado);
- Alta produtividade;
- Redução nas etapas de controlo no recebimento dos materiais e na produção;
- Aumento da área interior habitável.

A figura seguinte exemplifica o aumento da durabilidade da fachada e do conforto interior devido à colocação do isolamento térmico pelo exterior de uma forma contínua, através do perfil de temperaturas.

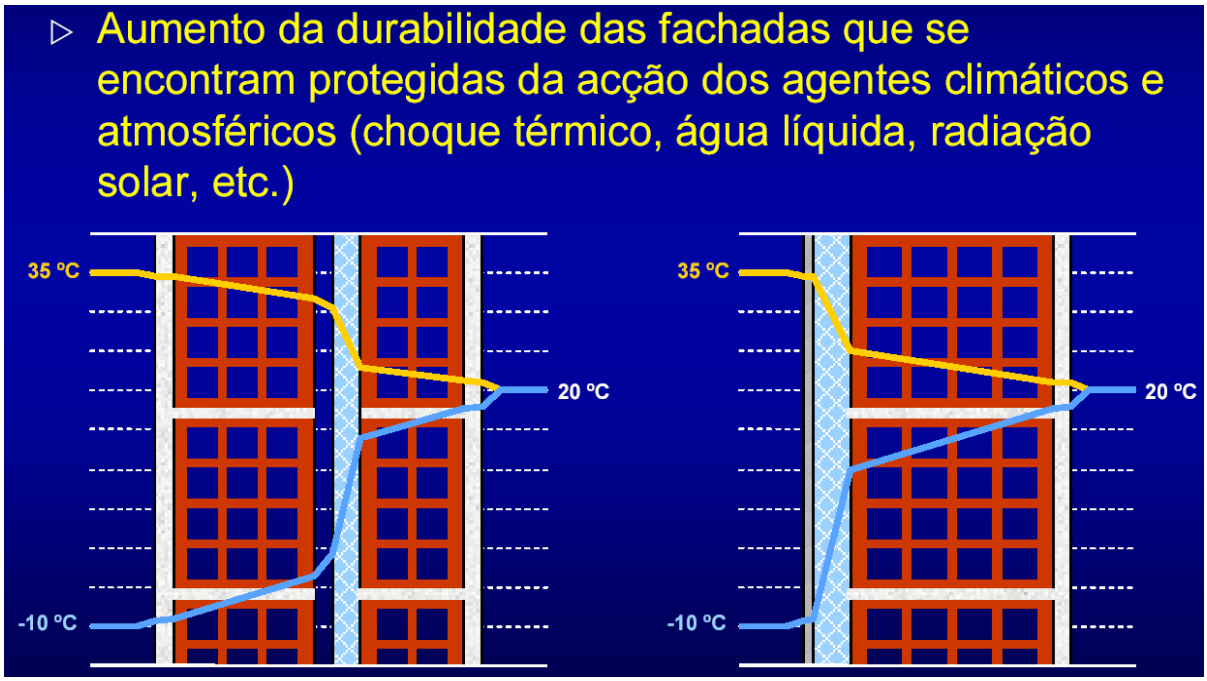


Figura 18 – Diferenças no perfil de temperaturas em função da colocação do isolamento térmico[2]

Por outro lado, todavia, algumas limitações importantes podem ser enumeradas. Elas são muito dependentes do grau de racionalização que se incorpora ao sistema e podem torná-lo mais ou menos competitivo, tanto do ponto de vista técnico, como económico, destacando-se:

- Ausência de normas e de requisitos de desempenho que agreguem valor comercial ao produto;

- Necessidade de mão-de-obra qualificada e com experiência;

- Dependência de mudanças organizacionais nos processos de gestão do empreendimento e da produção;

- Exigência de projecto específico detalhado e que defina o processo de montagem;

[2] Vasco Peixoto de Freitas e Pedro Filipe Gonçalves

2.4.2 Vantagens Comerciais

É possível afirmar, com muita clareza, que as fachadas de um edifício fazem parte de um dos domínios mais críticos na execução de edifícios do nosso país. Por ser produzida ainda, de maneira tradicional, incorpora inúmeros riscos no surgimento de problemas patológicos e económicos. Tais problemas têm levado ao desgaste da imagem institucional do construtor, aspecto fundamental para a sua subsistência, num mercado cada vez mais competitivo e em crise.

Os custos de manutenção também passaram a representar valores muito importantes dentro dos orçamentos das empresas. Algumas empresas dispendem, anualmente, vultuosas quantidades de capital para corrigir problemas em fachadas revestidas de forma tradicional.

Por estas razões, os construtores nacionais, a exemplo dos construtores dos países mais desenvolvidos, têm vindo a procurar alternativas que minimizem os riscos envolvidos na produção de fachadas. O mercado mostra-se muito receptivo à implantação de novas tecnologias que ofereçam conforto, durabilidade e segurança, que as fachadas executadas de forma tradicional não conseguiram oferecer ao longo dos anos.

As grandes construtoras nacionais parecem estar dispostas a pagar por soluções alternativas que justifiquem os benefícios. No entanto, as alternativas existentes no mercado, na sua maioria, senão na totalidade importadas, acarretam um elevado preço de comercialização que não justifica os benefícios que, sob o ponto de vista do construtor, o sistema impele ao longo dos anos. Isto porque, neste momento, o preço de comercialização médio dos sistemas de fachada ventilada existentes no nosso país, atinge facilmente o dobro do preço de custo de uma fachada executada de forma tradicional. É necessário reduzir os custos, através da produção em série, pela pré-fabricação destes sistemas, como sistemas de produção com garantia de desempenho.

A exigência de sistemas de produção específicos é fundamentada na impossibilidade de uma única organização, deter e utilizar de maneira eficaz todo o conhecimento tecnológico necessário para a produção das diversas partes do edifício.

Essa postura exige por parte dos agentes envolvidos, nos diversos processos de produção dos edifícios, uma mudança organizacional, com o intuito de se obter uma gestão do processo de produção, com alto nível organizacional para se obter os resultados esperados.

É fundamental que estes sistemas construtivos, como é o caso das fachadas ventiladas, sejam comercializados por uma empresa que disponha de projectistas, medidores orçamentistas, directores de obra, montadores, todos geridos por um sistema de gestão devidamente adaptado. É então necessário, que os sistemas de fachada e toda a organização do processo sejam coerentes e integradas com a solução construtiva.

É importante também, visando as alternativas de comercialização de sistemas de produção de fachadas ventiladas, desenvolvê-lo como um sistema construtivo aberto, já que os sistemas fechados apresentam inúmeras restrições à sua aplicação. Chamam-se fechados, os sistemas construtivos que são desenvolvidos a partir de um projecto arquitectónico único, que lhe serve de modelo. Os sistemas fechados não permitem variações na disposição e nas dimensões dos seus componentes e elementos. O fracasso da aplicação destes princípios à indústria da construção deve-se a motivos diversos. Um dos mais apontados é a sua rigidez, incompatível com a estrutura pulverizada e heterogénea do mercado de edificações. Ou seja, fracassaram os sistemas construtivos baseados nestes princípios, devido à sua pouca adaptabilidade a condições variáveis de produção e de comercialização, isto é, devido à sua pouca flexibilidade.

Já os sistemas flexíveis ou abertos são aqueles desenvolvidos a partir de um rol de elementos e componentes da construção, que podem ser combinados em diferentes soluções arquitectónicas, em que se varia a quantidade e dimensões e disposição dos diversos sistemas com os quais este possui uma interface.

São sistemas que conseguem vingar no mercado, devido à capacidade de se adaptarem às mais variadas condições de instalação e uso, permitindo modificações na sua disposição, substituições de peças e melhoramentos, sem que para isso sejam necessárias intervenções profundas nas estruturas dos edifícios que os abrigam.

É portanto, condição necessária para a viabilização técnico-construtiva e económica do conceito do sistema de fachadas ventiladas, que este seja combinável, intercambiável e complementar, não estando restringido na coordenação modular.

2.4.3 Casos de aplicação

Os sistemas de fachada ventilada comercializados pela Europa, em virtude da sua flexibilidade, podem ser utilizados tanto em edificações de pequeno porte, como em edificações em altura, quer se tratem de edificações novas ou reabilitação de construções existentes.

Devido à actual crise económica que se generaliza pela grande maioria dos países europeus, o ritmo de construção nova tem vindo a diminuir, crescendo, embora lentamente, o volume de obras de reabilitação. É nestes casos de reabilitação, que se prevê um enorme recurso a este tipo de solução para o revestimento de fachadas, no futuro a curto ou a médio prazo, devido à flexibilidade destes sistemas, à facilidade e rapidez de montagem, variedade de revestimentos e melhoria do nível de qualidade da fachada.

3 CONSIDERAÇÕES DE PROJECTO

Neste capítulo enunciam-se os principais aspectos que condicionam o projecto de dimensionamento e execução de uma fachada ventilada. Considera-se, em particular, as questões relacionadas com as bases de suporte, isolamento térmico, caixa-de-ar, segurança ao fogo e estereotomia. É, em particular, analisada a solução de revestimento com placas de grés porcelânico.

Um sistema de fachada ventilada é composto, basicamente, pelo suporte de fixação, por uma camada de material isolante térmico, pela caixa-de-ar ventilada, pela estrutura de fixação, pelos suportes das placas de revestimento, pelas placas revestimento, além dos demais acessórios necessários para o seu funcionamento.

A elaboração do projecto deve compreender a escolha dos materiais, o estudo da viabilidade para a execução da fachada, a análise dos custos do sistema, em função das necessidades técnicas e estéticas, as definições das linhas gerais e detalhes construtivos da obra, como também as especificações técnicas a ser atendidas.

Qualquer sistema de produção, por mais flexível que seja, deve basear-se em determinados padrões básicos predeterminados. Apesar de haver sempre a possibilidade de adaptações deve-se deixar claro que na grande maioria das vezes, a sua adopção acarreta custos adicionais para a implantação do sistema.

É necessário, por conseguinte, que tanto os projectistas como os montadores de obra, possuam todo o conhecimento das características do sistema, por forma a conceber e executar o edifício da maneira mais adequada, procurando a compatibilização das interfaces, atendendo ao requisitos predeterminados, sem necessidade de adaptações improvisadas, sejam elas oriundas da omissão nos projectos, ou de falha na execução, ou no controlo.

A figura seguinte mostra um corte esquemático da representação de um sistema de fachada ventilada.

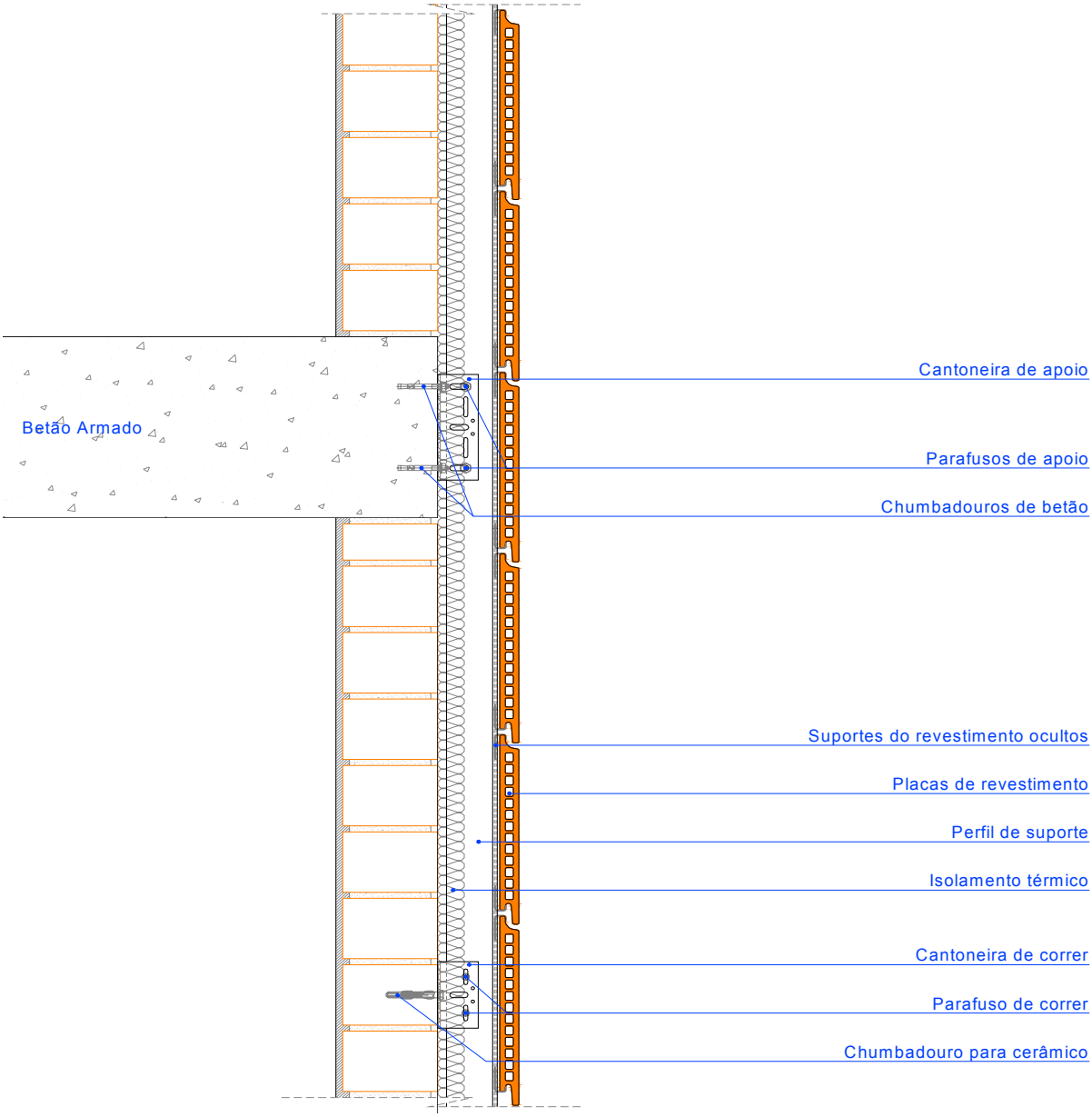


Figura 19 – Corte esquemático da representação de um sistema de fachada ventilada

Devem também ser considerados os factores construtivos que influenciarão no custo e no desempenho final do sistema, tais como:

- Suportes de fixação;
- Isolamento térmico no interior da caixa-de-ar;
- Tipo de caixa-de-ar; (ventilada ou estanque)
- Tipo e qualidade do material de revestimento;
- Coordenação modular (estereotomia);
- Pé-direito;
- Altura total da edificação;
- Interacção do sistema com os demais componentes que fazem parte da fachada.

Numa fachada ventilada deste tipo podem ser indicados os seguintes requisitos de desempenho que se resumem na seguinte tabela:

REQUISITOS DE DESEMPENHO EM FACHADAS VENTILADAS[3]	
SEGURANÇA	**1 - Segurança estrutural** - Resistência mecânica a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas decorrentes do uso normal ou abuso (peso próprio do revestimento e da estrutura de suporte, acção do vento, cargas oriundas de variações térmicas, cargas de impacto, fadiga provocada pelo vento); - Eficiência das ancoragens que ligam a estrutura de suporte à estrutura do edifício; - Eficiência do sistema de fixação das placas à estrutura de suporte; - Capacidade de absorver as deformações previstas em projecto.
	2 - Segurança ao fogo - Reacção ao fogo dos materiais escolhidos (combustibilidade e propagação de chama e liberação de gases e fumaça); - Resistência ao fogo de todo o sistema (integridade, estanqueidade e isolamento).
HABITABILIDADE	**3 - Estanqueidade à água** - Pouca absorção de água; - Eficácia na drenagem de águas pluviais.
	4 - Conforto térmico e economia de energia - Estanqueidade ao ar; - Isolamento térmico no inverno e no verão.
	5 - Estética - Planeza dos componentes e do conjunto; - Condição superficial (cor, brilho, textura...); - Uniformidade de colocação.
	6 -Conforto acústico - Isolamento e absorção sonora; - Não ser fonte de ruídos através das solicitações térmicas, ou da vibração ou impactos provocados pelos agentes atmosféricos;
	7.Conforto táctil - Agradável e suave ao tacto.
	8 - Adaptação ao uso - Integração das instalações; - Facilidade na montagem.
DURABILIDADE	**9 - Durabilidade (manutenção do desempenho durante a vida útil)** - Conservação do aspecto (cor e brilho); - Conservação das propriedades mecânicas; - Conservação das propriedades da estrutura de suporte.
	10 - Manutenção - Facilidade e frequência de limpeza e manutenção; - Custo global.

A segunda fase do projecto refere-se ao projecto para produção do sistema propriamente dito. Nesta fase, deve ter-se em conta o conceito da "lean construction", a construção magra, sem desperdícios, a construção em série, tendo em consideração a singularidade da construção de edifícios, já que nesta, ao contrário da construção em série, para cada produto tem-se, quase sempre,

[3] Amaury Antunes de Siqueira Júnior – Tecnologia de fachada cortina com placas de grés porcelanato

um projecto de produto diferente. Portanto, apesar de não ser possível construir edifícios numa linha de montagem em série, muitos dos procedimentos de produção devem permanecer os mesmos na execução de várias obras de uma mesma empresa e com uma mesma tipologia de produto, só assim é possível obter maiores rendimentos, maior organização e maiores lucros.

Assim, a necessidade de antecipação dos processos, levando o domínio desses para a engenharia, caracterizada por uma visão mais sistemática do processo de produção, aponta para a necessidade da utilização de duas ferramentas de projecto, designadas por projecto de execução e projecto para a gestão de obra.

Entende-se por projecto de execução, a elaboração das estratégias gerais da produção, das normas de procedimento da execução, das metas de produtividade em cada etapa padrão e dos controlos a ser observados para cada tipo de processo construtivo utilizado pela empresa.

Já o projecto para a gestão de obra é voltado para a definição das etapas e métodos de execução, de forma a ampliar o desempenho na produção dessas etapas.

Ressalta-se que a adopção de um processo padronizado e controlado, facilita a identificação de problemas de qualidade e produtividade, permitindo que se proceda a uma intervenção na produção no momento em que se nota uma distorção produtiva.

Deve-se deixar claro que devido à singularidade de cada empresa, o projecto para execução deve ser personalizado e adaptado aos seus moldes, envolvendo medidas de planeamento estratégico da produção, caracterizados pela gestão da mão-de-obra, investimento em equipamentos de produção, qualificação dos fornecedores e o estabelecimento de um relacionamento com os projectistas do edifício, de forma que estes últimos levem em consideração as características de produção do sistema, que, necessariamente, devem ser tratadas por uma eficiente coordenação de projectos.

A coordenação de projectos é ferramenta essencial para a melhoria da qualidade global do produto final, especialmente quando se utiliza um sistema de produção, no processo construtivo de um determinado subsistema. Desta forma, é imprescindível que as características dimensionais e de desempenho do sistema, sejam perfeitamente conhecidas pelos diversos agentes envolvidos no processo de projecto, identificando-se por sobreposição, as interferências existentes entre as diversas disciplinas que possuem uma interface com a produção deste.

Uma sequência lógica, que aborde as várias etapas relativas ao desenvolvimento do processo de projecto de fachadas ventiladas, pode ser representada pelo fluxo grama indicado na figura seguinte. Nele, estão distintas as etapas de projecto da responsabilidade dos projectistas do edifício e do projecto de produção da fachada.

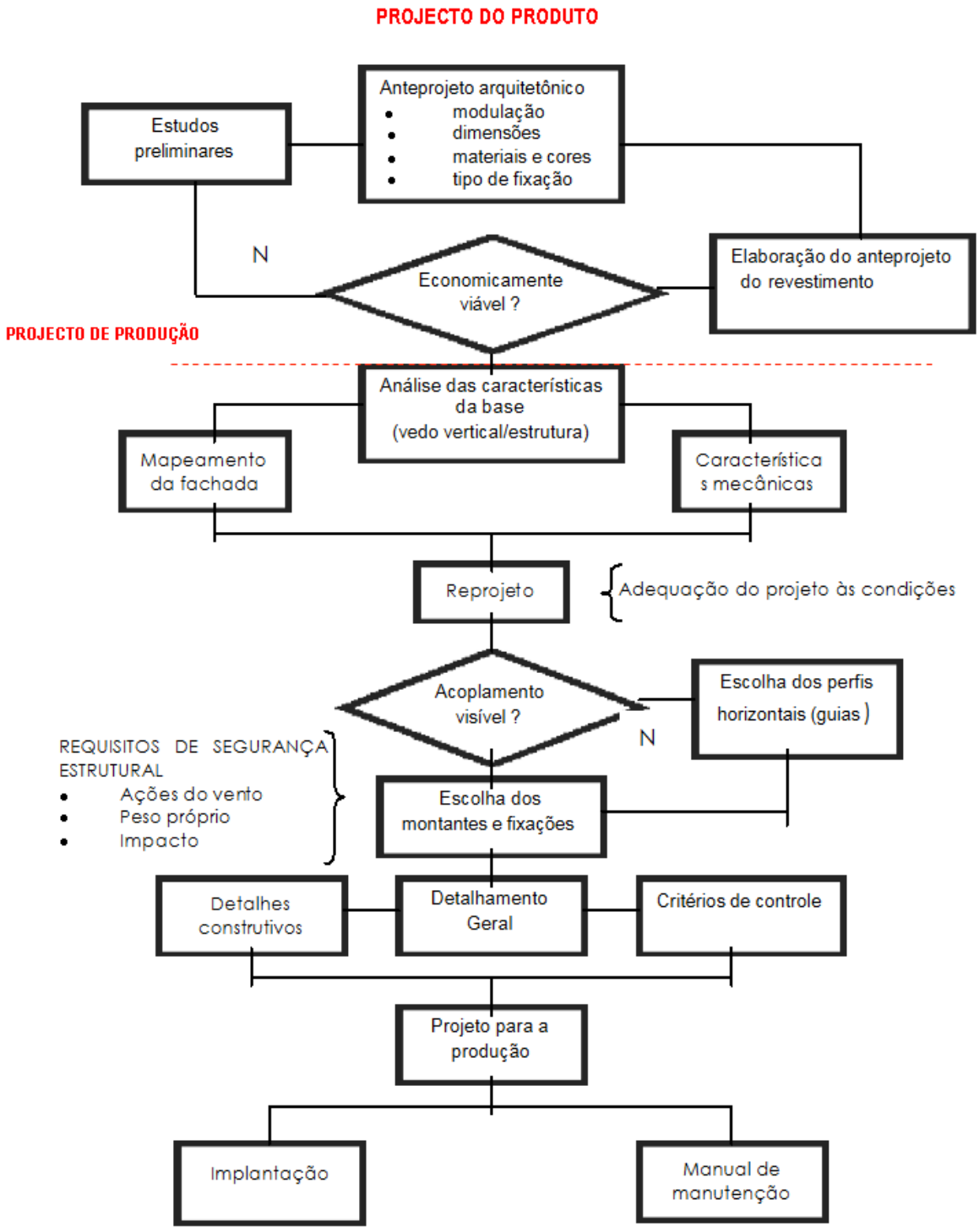


Figura 20 – Etapas relativas ao desenvolvimento do processo de projecto de fachadas ventiladas[4]

[4] Amaury Antunes de Siqueira Júnior – Tecnologia de fachada cortina com placas de grés porcelanato

3.1 BASE SUPORTE DE FIXAÇÃO

A adopção de paredes com resistência à flexão, compatíveis com os esforços aplicados pela estrutura de suporte de uma fachada ventilada, é um factor significante no custo do sistema, já que a possibilidade de se ancorar a estrutura num ou mais pontos intermediários, contribui para a diminuição da secção dos perfis montantes, diminuindo as deformações dos perfis, a quantidade de alumínio a ser utilizada e por conseguinte, o custo global do sistema. Assim sendo, o projectista deve possuir o domínio tecnológico sobre o elemento de vedação vertical a ser utilizado.

Deve-se levar em consideração os factores que influenciam no desempenho da envolvente como um todo, considerando além da resistência à flexão da base, a deformabilidade dos seus diversos elementos e componentes que podem vir a comprometer o desempenho da vedação, e portanto, da fachada ventilada no geral.

A caracterização do sistema base de fixação pode ser definida como:

" Paramento resistente situado atrás do revestimento, que transmite os esforços deste para a estrutura do edifício e que apresenta uma deformabilidade compatível com a livre deformação dos componentes do revestimento".

3.1.1 Paredes de Alvenaria em tijolo / Estrutura em Betão armado

Para melhor compreender a natureza dos componentes da base, estes, podem ser classificados de acordo com os materiais de que são constituídos, ou ainda pela percentagem de furação que apresentam. Contudo, não se pode assegurar um comportamento homogéneo de ancoragens fixadas sobre uma parede executada com blocos ocos, onde há variação da espessura da parede, pois a ancoragem pode afectar um septo, um furo, a junta de argamassa ou a união quase seca das juntas verticais.

Desta forma, se as ancoragens forem isoladas ou pontuais, fixadas directamente à parede de alvenaria, esta deve ser ou em betão, ou em tijolo/bloco perfurado ou maciço. O CEB publicou um estudo que permite avaliar a segurança das ancoragens em elementos de suporte, quer sejam paredes em betão armado, ou em alvenaria de tijolo. Existem formulações que correlacionam as propriedades dos materiais de base com as forças de arrancamento e corte. No entanto, a título indicativo, a seguinte tabela mostra o grau de confiança do suporte para utilização, como base de ancoragens para fachadas ventiladas.

NATUREZA DO SUPORTE	GRAU DE CONFIANÇA
Betão	Excelente
Tijolo Maciço	Muito Bom
Tijolo perfurado	Bom
Blocos de argamassa de cimento com paredes de 3cm	Bom
Tijolo cerâmico com pequenas células ocas	Bom
Tijolo cerâmico vazado	Mau
Nota: No dimensionamento das ancoragens, deve ter-se em conta, além da resistência do material, a situação das juntas e bordas da alvenaria. Nos casos de Tijolo vazado, devem utilizar-se reforços como cintas entre outros.	

Em secção posterior, são apresentados resultados de ensaios de arrancamento e corte, realizados em obra, que complementam as informações aqui indicadas.

3.1.2 Movimentos Estruturais

Quando a envolvente não pode ser utilizada como suporte, as ancoragens devem ser fixadas directamente aos elementos estruturais, vigas, pilares e lajes. Neste caso, é necessário assegurar que a deformação destes elementos seja inferior a 1/250 do vão livre do elemento, deixando claro que esta restrição é imposta a todo o conjunto, tanto para a estrutura suporte, como para a estrutura auxiliar, ou seja, somatório das deformações de ambos os sistemas.

Os movimentos originados pelo encurtamento dos pilares, flexão das vigas, a acção do vento, a acção sísmica, os assentamentos diferenciais das fundações e os esforços transmitidos pelas variações térmicas e higrométricas, podem sujeitar os revestimentos de fachada ventilada a esforços não previstos, provocando falhas no sistema de fixação ou até mesmo o colapso da estrutura de suporte auxiliar. A figura seguinte mostra alguns tipos de deformações a que estão sujeitas as peças estruturais em betão armado e consequentemente os revestimentos da fachada ventilada.

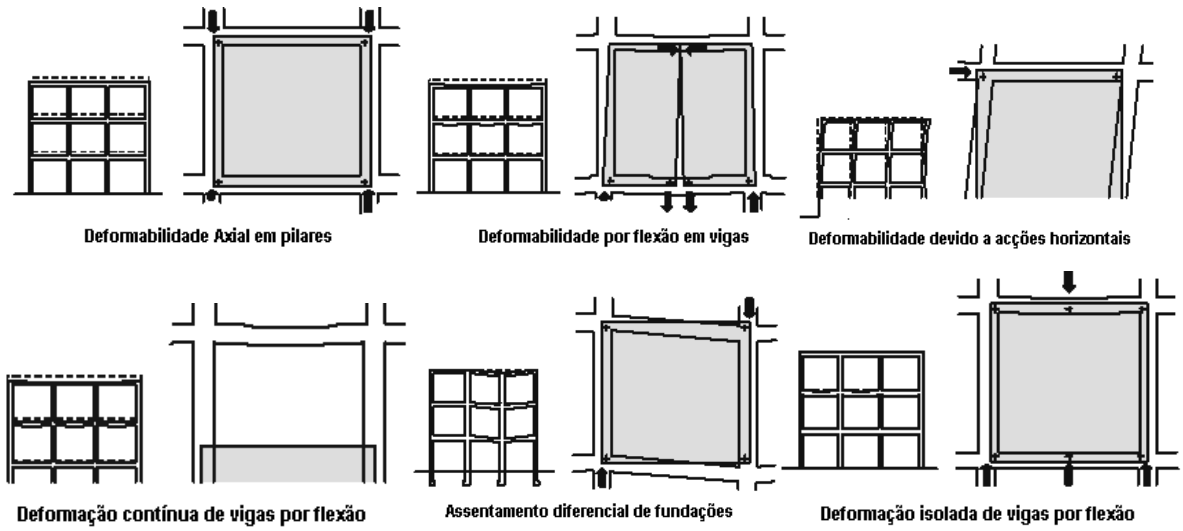


Figura 21 – Deformações a que a fachada ventilada está sujeita devido a movimentos estruturais

3.1.3 Expansão e contracção térmica

O revestimento de um edifício deve absorver também, os movimentos de expansão e contracção térmica a vários níveis. Sendo este, um plano exposto às variações de temperatura e, portanto, dilatando e contraindo-se constantemente, as diferenças entre as temperaturas internas e a externas, podem causar o empenamento do painel de revestimento, devido à expansão e contracção diferencial, existente entre as faces interna e externa.

No caso das fachadas ventiladas, a estrutura do edifício é protegida de temperaturas extremas pelo revestimento e pela caixa-de-ar, estando apenas a estrutura de suporte juntamente com o revestimento, sujeitos as solicitações térmicas, uma vez que a estrutura em betão armado e o suporte em alvenaria estão termicamente isolados pelo exterior, com o devido isolamento térmico.

Assim sendo, os movimentos de expansão e contracção térmica dos materiais de construção utilizados na concepção da fachada, devem ser devidamente estudados, tendo em conta as suas acções desde a fase de projecto no desenvolvimento da fachada.

Para determinar os esforços e deformações induzidas nas peças, devem ser realizados ensaios laboratoriais, para a determinação dos coeficientes de dilatação térmica linear de cada material. Uma vez definido com rigor o valor do coeficiente para cada material, os esforços e deformações podem ser calculados analiticamente, através da lei de Hooke:

$$\Delta l = \alpha \times l \times \Delta t$$

$$\sigma = {}^{N}\!/_{A} = E \times \varepsilon$$

$${}^{N}\!/_{A} = E \times {}^{\Delta l}\!/_{l} \Rightarrow N = E \times A \times \alpha \times \Delta t$$

onde:

Δl - Variação de comprimento da peça

Δt - Variação de temperatura na peça

α - Coeficiente de condutibilidade térmica linear do material

l - Comprimento da peça

σ - Tensão actuante da peça

N - Esforço axial na peça

A - Área da secção transversal da peça

E - Módulo de Elasticidade do material

ε - Variação de comprimento unitária da peça

3.2 ISOLAMENTO TÉRMICO

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações, por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios, sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão. Mais de uma dezena de anos passados, verifica-se que o RCCTE constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal, havendo hoje uma prática quase generalizada de aplicação de isolamento térmico nos edifícios, incluindo nas zonas de clima mais ameno, mesmo para além do que o RCCTE exige, numa prova de que o referido Regulamento conseguiu atingir e mesmo superar os objectivos a que se propunha. Hoje em dia, com a revisão do RCCTE no Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, verifica-se uma preocupação crescente com a actual crise energética não só do país, mas também mundial, procurando novas soluções que minimizem a dependência externa dos produtos petrolíferos, através da aplicação de isolantes térmicos que minimizem ou eliminem das pontes térmicas, diminuam o coeficiente global de transferência de calor da envolvente, recorrendo às energias renováveis através

da inclusão de painéis solares na cobertura. A redução da perda de calor no inverno promove economia nos custos de aquecimento e a redução do ganho de calor no verão resulta num menor custo de arrefecimento, devido ao uso do ar condicionado.

Nas paredes, tectos, pisos e em todos os elementos envolventes que separam zonas com diferenças térmicas sujeitas a fluxos de calor, é imperativo projectar o isolamento térmico adequado ao sistema construtivo escolhido, evitando fissurações, infiltrações de humidade, condensações, manchas, degradação do material e o desconforto associado.

Um isolamento térmico é um material com um baixo coeficiente de condutibilidade térmica, normalmente poroso, cuja elevada resistência térmica é baseada na baixa condutibilidade do ar contido nos seus vazios. Logo, quanto menor a densidade do material e maior o número de poros, maior o seu poder de isolamento. O limite desta capacidade, naturalmente, é a condução pura do ar em repouso, cujo valor é da ordem de 0,02 kcal/m2 h °C.

Assim, um material de isolamento térmico, deve apresentar as seguintes propriedades:

- Baixa condutibilidade térmica;
- Resistir à solicitação térmica aplicada;
- Boa resistência mecânica;
- Imputrescível e inatacável por fungos;
- Incombustível;
- Não higroscópico;
- Baixa permeabilidade ao vapor de água.

A figura seguinte faz a comparação de diversos tipos de materiais, correntemente utilizados como isolamento térmico, onde se destaca a espessura do material para o mesmo nível de isolamento.

COMPARAÇÃO DE MATERIAIS

Material	K Kcal / hm °C	Densidade Kg m^3	Temperaturas de trabalho ° C	Igual isolamento	
				Espessura Equivalente	Peso Equivalente
Poliuretano	0,018	32	-200 a 110	1	1,0
Poliestireno expandido	0,028	15	-150 a 70	1,4	0,6
Espuma fenólica	0,028	30	-200 a 130	1,4	1,2
Fibra de vidro	0,029	65	-180 a 315	1,5	2,8
Lã mineral	0,035	100	-100 a 980	1,8	5,1
Cortiça	0,039	100	-180 a 94	2,0	5,7
Amianto fibra	0,044	160	-100 a 450	2,2	10,1
Espuma de vidro	0,047	144	-220 a 430	2,4	9,9
Betão celular	0,120	550	-	6,0	94,3

Figura 22 – Comparação de diferentes materiais de isolamento térmico

No caso das fachadas ventiladas, outra importante propriedade do material de isolamento térmico é a compatibilidade deste com o alumínio, o aço inoxidável, ou qualquer outro material que seja utilizado na estrutura de suporte auxiliar do sistema.

Numa tentativa de corrigir algumas patologias originadas por uma deficiência no isolamento térmico de construções existentes, foram desenvolvidas técnicas de reforço das quais se destacam as seguintes soluções:

- Reforço do isolamento térmico nas paredes pelo interior;
- Desenvolvimento de materiais de construção (blocos, painéis, etc.), com menor condutibilidade térmica que os materiais tradicionais;
- Reforço do isolamento térmico das paredes pelo exterior.

A solução mais utilizada em fachadas ventiladas é a do reforço do isolamento térmico pelo exterior, uma vez que, além de ser totalmente compatível com este sistema construtivo apresenta as seguintes vantagens:

- Minimização ou eliminação de pontes térmicas;
- Aumento da vida útil da base suporte da envolvente, devido à sua protecção dos agentes atmosféricos;
- Facilidade de aplicação em edifícios ocupados sem a necessidade de restrições no seu uso;
- Minimiza a possibilidade de condensação do vapor de água no interior da parede.

Uma vez escolhido o material a aplicar como isolamento térmico, é necessário definir a sua colocação. A figura seguinte mostra que no Inverno, a aplicação do isolamento térmico pelo interior (lado quente da parede) facilita a condensação e a colocação do isolamento pelo exterior (lado frio da parede) dificulta a condensação.

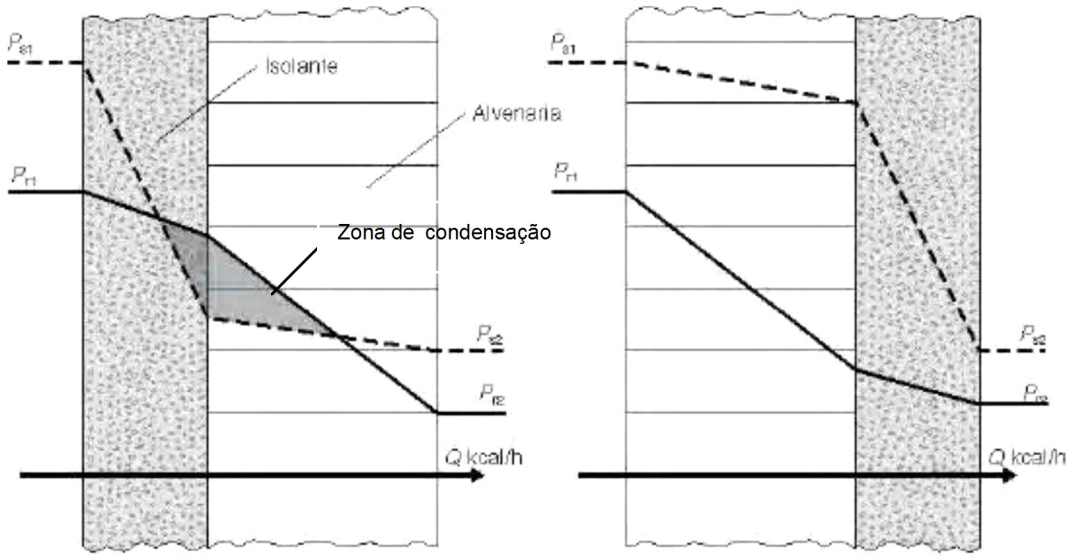


Figura 23 – Condensação do vapor de água devido à variação na localização do isolamento térmico

Ps= Pressão de Saturação

Pr= Pressão do Vapor

3.2.1 Poliuretano projectado

As espumas rígidas de poliuretano obtêm-se por mistura e reacção química de dois componentes líquidos, o poliol e o isocianato. As espumas de poliuretano contêm no interior das suas células o agente expansor, monofluorclorometano, cujo coeficiente de condutibilidade térmica é de 0,0079 Kcal/m.h.ºC. Esta característica confere à espuma de poliuretano, um coeficiente de condutibilidade térmica mínimo à temperatura ambiente de 0,0017 Kcal/m.h.ºC.

O Poliuretano tem características que asseguram o enorme êxito que tem obtido nas mais diversas aplicações. Pode ser aplicado sobre qualquer tipo de suporte, como betão, tijolo, madeira, ferro e a sua aderência é excepcional. Devido à óptima resistência térmica, as dilatações e contracções das estruturas, consequência das solicitações térmicas, são reduzidas, diminuindo assim fissurações em alvenarias, coberturas e consequentes infiltrações. Ao Poliuretano acrescenta-se-lhe a sua total estanquidade à água, alguma resistência à compressão e a resistência aos microrganismos, não favorecendo o desenvolvimento de fungos e bactérias.

A aplicação do poliuretano projectado, na construção de edifícios, é cada vez mais utilizada pelas seguintes vantagens:

- Aplicação contínua sem juntas; (eliminação de pontes térmicas)
- Impermeável à água;
- Facilidade e rapidez na aplicação;
- Leveza;
- Propriedades acústicas;
- Baixo coeficiente de condutibilidade térmica;
- Boa estabilidade dimensional;
- Imputrescível;
- Isento de CFC's;
- Baixa permeabilidade ao vapor de água;
- Boa resistência aos produtos químicos;
- Não atrai insectos nem roedores;
- Evita condensações;

A seguinte tabela mostra algumas das propriedades mais importantes das espumas de poliuretano.

Propriedades da espuma de Poliuretano	
Densidade a 20 ºC (g/cm3)	25-60
Resistência à compressão (kgf/cm2)	1,8-3,5
Condutibilidade térmica (kCal/m.h.ºC)	0,016-0,02
Permeabilidade ao vapor de água (g.cm/m2.dia.Torr)	6-3

A figura seguinte mostra o resultado da aplicação de poliuretano projectado na cobertura de um edifício.



Figura 24 – Aplicação de Poliuretano projectado numa cobertura

3.2.2 Poliestireno extrudido

Um dos produtos mais conhecidos para isolamento térmico é a espuma azul de poliestireno extrudido, sendo aplicado na construção pelas suas excelentes propriedades. Os produtos para isolamento térmico em espuma de poliestireno extrudido são placas rígidas com estrutura de célula fechada, que se caracterizam pelas seguintes propriedades:

- Excelentes prestações térmicas (condutibilidade térmica muito baixa);
- Insensibilidade à água e humidade;
- Elevada resistência mecânica;
- Grande resistência à difusão do vapor de água;
- Capilaridade nula;
- Imputrescibilidade;
- Facilidade de trabalho, corte e instalação;
- Resistência ao manuseamento em obra;
- Resistência química e biológica;
- Reacção ao fogo M1;
- Durabilidade.

Estas propriedades mantêm-se ao longo do tempo, pelo que este material de isolamento térmico apresenta um excelente comportamento a longo prazo.

A figura seguinte resume todas estas propriedades numa tabela organizada.

Condutibilidade térmica, λ (1)	ISO 8301	W/m˚C (kcal/hm˚C)	0.028 (0.024)
Resistência à compressão (mínima) (2)	NP EN 826	Kpa (ton/m^2) (kg/cm^2)	150 (15) (1.5)
Absorção de água	NP EN 1609	% vol.	< 0.2
Capilaridade	-	-	Nula
Factor de resistência à difusão do vapor de água, μ (3)	NP EN 12086	-	100 - 200
Coeficiente de dilatação linear	-	mm/m˚C	0.07
Temperaturas de trabalho recomendadas	-	˚C	-50 / +75
Reacção ao fogo	UNE 23727	-	M1

Figura 25 – Propriedades de placas de poliestireno extrudido

A aplicação deste material em obra é bastante simples, não necessitando de equipamentos especiais, ou mão-de-obra qualificada para a sua aplicação, ao contrário do poliuretano projectado. No caso de fachadas ventiladas, primeiramente são aplicados os perfis da estrutura de alumínio e só depois são aplicadas as placas de poliestireno entre os perfis. Poderá ser entendido que, neste caso, o isolamento é interrompido entre os perfis, não sendo tão eficaz como o poliuretano projectado, onde a projecção é feita de uma forma contínua. A figura seguinte mostra a aplicação das placas de poliestireno extrudido numa fachada ventilada.



Figura 26 – Aplicação de placas de poliestireno extrudido numa fachada ventilada

3.3 CAIXA-DE-AR

Num sistema de fachada cortina, a caixa-de-ar pode ser dimensionada de tal forma que o aquecimento provocado pela radiação solar venha a armazenar, temporariamente, o calor para a protecção do ambiente interior da edificação no caso de inverno rigoroso, ou pode ser projectada com a função de remover o excesso de calor no verão, pelo efeito chaminé.

Desta forma, a caixa-de-ar é definida de acordo com os propósitos do projectista, sendo classificada em função do movimento do ar no seu interior:

- Sistema não ventilado (estanque);
- Sistema ventilado.

3.3.1 Fachada cortina com caixa-de-ar estanque

O sistema não ventilado é um sistema estanque, visto não possuir aberturas que liguem o ar existente na caixa-de-ar com o ar exterior. Neste caso, o revestimento exterior faz também o papel de barreira ao ar. A caixa-de-ar, quando estanque, deve ter uma espessura de 20 a 50 mm e possuir na sua base dispositivos de evacuação para o exterior da água, que eventualmente penetre através do revestimento.

3.3.2 Fachada cortina com caixa-de-ar não estanque (fachada ventilada)

Um sistema ventilado pode ser caracterizado de duas formas:

- Sistema com ventilação mecânica;
- Sistema com ventilação natural.

O sistema com ventilação mecânica induz o fluxo do ar no interior da câmara com o auxílio de um equipamento mecânico. A escolha apropriada da ventilação, o tamanho, a quantidade, a localização e a divisão em câmaras de ventilação constante e compartimentos herméticos, é requisito indispensável para o bom desempenho do sistema.

Quando a caixa-de-ar é projectada para ventilação natural, o aquecimento do revestimento originado pela radiação solar provoca uma variação na densidade do ar situado no interior da caixa-de-ar, incitando um movimento de ascensão denominado “efeito chaminé”, responsável pela eliminação, por convecção, do ar aquecido para fora do sistema, contribuindo também para a remoção do vapor de água.

Esta caixa-de-ar ventilada tem como principais funções promover a drenagem da água que entra para o seu interior, através das juntas do material (geralmente utilizam-se juntas abertas entre as placas do revestimento), remover a humidade através da evaporação e igualar a pressão do ar do seu interior à pressão exterior, caso seja dimensionada para tal.

O desempenho desta ventilação depende da manutenção de aberturas em baixo e no topo da instalação, tendo em conta que nenhum elemento construtivo interrompa a corrente de ar, vindo a causar um fluxo convectivo localizado.

As figuras seguintes mostram um esquema de montagem das aberturas em baixo e no topo da instalação.

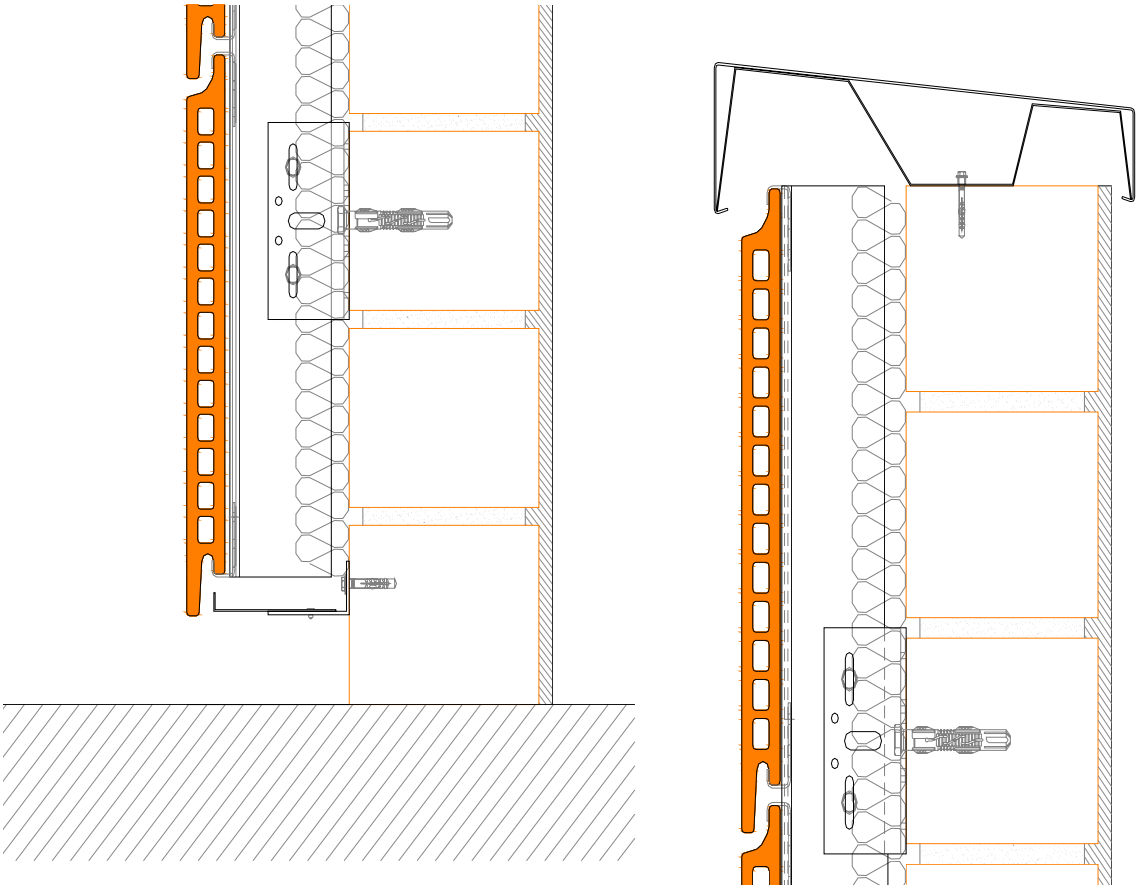


Figura 27 – Aberturas em baixo e no topo para a ventilação numa fachada ventilada

O ar é conduzido e removido do interior da câmara através da pressão do vento e/ou pelo efeito chaminé. A pressão do vento é a componente dominante para a taxa de fluxo de ar. Se a caixa-de-ar estiver correctamente projectada, o vento que incide sobre a fachada pode criar pressões diferentes entre a entrada e a saída, induzindo o movimento do ar no interior da câmara. Sem a acção do vento, a caixa-de-ar pode ser ventilada pelo efeito chaminé. Em todo o caso, deve-se sempre assegurar que as pressões resultantes do efeito chaminé não sejam anuladas pelas forças resultantes do vento. Para se obter tal efeito, é necessário determinar qual a espessura ideal para a caixa-de-ar. Por razões construtivas, como limite inferior, adopta-se a espessura mínima de 3cm devido a inevitáveis “rebarbas” na argamassa. Como limite superior, adopta-se a espessura de 15cm, uma vez que acima desta, do ponto de vista mecânico, aumentaria o risco de enfunamento das ancoragens de fixação e da alma dos perfis. Todavia, verifica-se que construtivamente, a necessidade da implantação de perfis metálicos para a execução da estrutura auxiliar de suporte do revestimento obriga que, em fachadas ventiladas, a espessura da caixa-de-ar esteja compreendida entre 5 a 15cm.

3.4 SEGURANÇA AO FOGO

O comportamento, face ao fogo, de elementos estruturais ou de compartimentação, considerado em termos da manutenção das funções que tais elementos devem desempenhar em caso de incêndio, caracteriza-se por um indicador, “resistência ao fogo”. Este avalia-se pelo tempo que decorre, desde o início de um processo térmico normalizado a que o elemento é submetido, até ao momento em que o elemento deixa de satisfazer determinadas exigências relacionadas com as referidas funções. As exigências pretendidas num determinado elemento são:

- Estabilidade – EF (Estável ao fogo);
- Estanquidade ou isolamento térmico – PC (Pára chamas);
- Estanquidade e isolamento térmico – CF (Corta fogo).

Para cada uma das três exigências anteriores existem vários escalões, que indicam o tempo limite inferior de resistência: (minutos)

- 15; 30; 45; 60; 90; 120; 180; 240; 360.

Numa edificação, o tempo necessário para a ocorrência de uma inflamação generalizada, é influenciado pela natureza dos materiais presentes nas superfícies dos elementos construtivos. Com a utilização de materiais adequados, este tempo pode ser prolongado, elevando o nível de segurança ao fogo da edificação.

Uma vez que o incêndio atinge a fase de inflamação generalizada, no compartimento de origem, os elementos construtivos estarão sujeitos à exposição de intensos fluxos de calor. É a resistência ao fogo desses elementos, de suportarem tal acção, que permitirá conter o alastramento do incêndio ou manter a estabilidade estrutural do edifício.

No caso das fachadas ventiladas, os elementos com menor resistência ao fogo são todos os materiais metálicos aplicados na estrutura de suporte, nomeadamente, os perfis e as cantoneiras de alumínio e eventuais parafusos que possam estar expostos. Para aumentar a resistência ao fogo destes materiais devem ser projectados compostos de lã mineral, produtos inorgânicos e ligantes hidráulicos, tendo sempre em conta que estes compostos devem estar isentos de amianto ou outro qualquer produto nocivo para a saúde.

A forma de aplicação é muito semelhante à projecção do poliuretano, podendo até mesmo ser um substituto deste, embora com características térmicas mais atenuadas.

A seguinte tabela mostra algumas das propriedades mais importantes de um composto de lã mineral, utilizado como reforço na resistência ao fogo.

Propriedades de um composto de lã mineral para a melhoria da resistência ao fogo	
Densidade (Kg/m3)	180-300
Reacção ao fogo	M0 (Incombustível)
Condutibilidade térmica (W/m.ºC)	0,03-0,04
PH	10

A figura seguinte mostra a aplicação deste composto em diversos elementos estruturais.

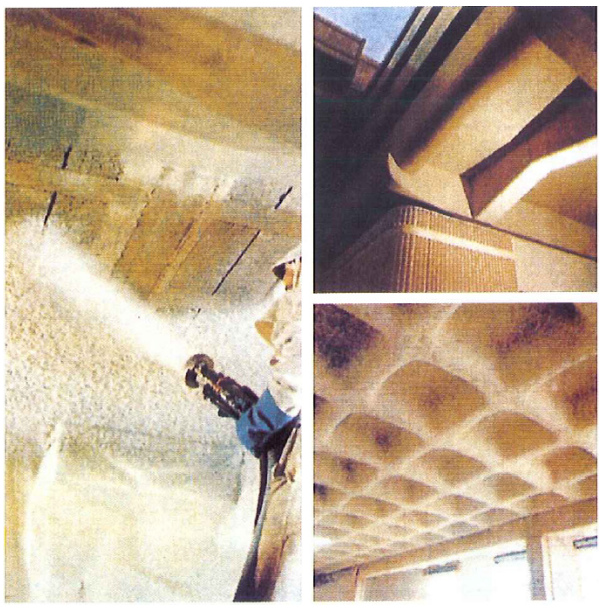


Figura 28 – Aplicação de um composto para melhoria da resistência ao fogo dos elementos

3.5 ESCOLHA DO REVESTIMENTO EM PLACAS DE GRÉS PORCELÂNICO

A escolha dos componentes a utilizar para a execução de uma fachada ventilada deve ser realizada em função das necessidades técnicas e estéticas, definições das linhas gerais e detalhes construtivos da obra, do custo directo e indirecto das diversas opções, da facilidade de execução e manutenção, entre outras. Alguns dos factores que influenciam directamente o custo e desempenho final de uma fachada ventilada, são o sistema de fixação (visível ou oculto, fixados à estrutura de suporte ou directamente à base de suporte da envolvente, através de ancoragens pontuais ou directas), o tipo de metal utilizado (aço inoxidável, alumínio ou ferro galvanizado), a dimensão das placas (quanto menores, maior a quantidade de travessas e montantes metálicos, menor a produtividade) e finalmente, a qualidade do componente de revestimento escolhido.

No que diz respeito à qualidade do componente de revestimento escolhido, a absorção de água é o aspecto técnico mais importante a ser considerado para revestimentos de fachada, juntamente com o coeficiente de dilatação térmica linear. Estes coeficientes deverão ser o mais baixo possível, dando ao revestimento a capacidade de resistir à poluição, à erosão e a todas as mudanças climáticas, devido à variação de humidade e temperatura. A resistência ao congelamento dos materiais, depende da absorção de água. Assim sendo, o material que possuir o menor coeficiente de absorção de água é o que melhor resiste ao congelamento, uma vez que não havendo absorção de água, esta não pode congelar nos poros do material, nem fissurar ou até mesmo partir o revestimento. Portanto, um material com um baixo coeficiente de absorção de água evita o recurso a qualquer tipo de hidrorepelente, produto este, que no decorrer de alguns anos, deixa de satisfazer as exigências pretendidas como repelente de água, propiciando a alteração do aspecto do revestimento com o passar do tempo.

Outro ponto, muito importante, para a escolha das placas de revestimento em fachadas ventiladas é o conhecimento das características mecânicas da placa, já que disto dependerá a segurança e a durabilidade da fachada. A resistência à flexão deve ser elevada, o suficiente, para resistir aos esforços, devidos à pressão do vento e ao choque acidental de corpos, como é o caso de bailéus, utilizados muitas vezes em intervenções de manutenção ou limpeza. Deve adoptar-se como mínimo de tensão característica de resistência à flexão, o valor de 35 N/mm2, porém, com o avanço tecnológico das indústrias porcelânicas, as placas em grés porcelânico de maior qualidade atingem valores acima de 50 N/mm2.

Quanto aos outros condicionantes, que não os puramente mecânicos, relacionados com a resistência das placas, estão os aspectos de composição arquitectónica que determinam o tamanho das peças e, consequentemente, os esforços sobre as ancoragens e sobre a própria placa.

A escolha da textura ou acabamento superficial das placas deverá ser feita entre aquelas que sejam compatíveis com a sua exposição. A escolha deverá garantir, durante um longo período de tempo, num determinado ambiente, que não hajam alterações de cor ou outros factores estéticos, seja pela acção dos raios ultravioletas ou atmosferas contaminadas, que propiciem a deposição de sujidades. A estabilidade das cores deve ser ensaiada e devidamente verificada antes da escolha do material, devendo o resultado daí obtido ser estável. A resistência ao ataque químico por ácidos e bases, também deve ser verificada, sendo que, o resultado alterado, significa que o componente possui baixa resistência à poluição atmosférica.

O material que apresenta as melhores características técnicas, cumprindo todas estas exigências, é o grés porcelânico. Apesar da placa de grés porcelânico possuir uma excelente resistência mecânica, é importante a colocação de uma rede de protecção no tardoz da placa, com o objectivo de evitar a queda de fragmentos, em caso de ruptura.

A imagem seguinte mostra algumas das características técnicas mais importantes de placas de grés porcelânico à venda no mercado nacional.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

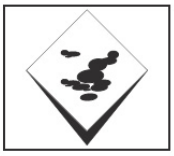
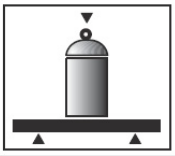
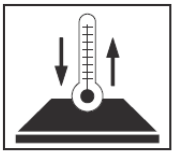
	Normas	Grés Porcelânico
 DUREZA SUPERFICIAL DE MOHS	EN 101	8
 ESPESSURA	ISO 10545-2	**Polido** 10,5 mm
 RESISTÊNCIA A MANCHAS	ISO 10545-14	2 a 5
 RESISTÊNCIA À FLEXÃO	ISO 10545-4	50N/mm^2
 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR	ISO 10545-8	6,5*10^{-6}/ ºC (máx.)
 RESISTÊNCIA QUÍMICA	Cahier CSTB 3243 Anexo 9	3 (min.)
 RESISTÊNCIA AO GELO	ISO 10545-12	Sim **-35º**
 ABSORÇÃO DE ÁGUA	ISO 10545-3	±0,03%
 RESISTÊNCIA À ABRASÃO PROFUNDA	ISO 10545-6	100mm^3

Figura 29 – Características técnicas de uma placa de grés porcelânico

3.6 A ESTEREOTOMIA DA FACHADA

A estereotomia da fachada é a arte ou técnica de cortar ou dividir com rigor os materiais de construção. É um projecto fundamental para a execução da uma fachada ventilada, já que, além de determinar o padrão estético da fachada, busca a coordenação modular, de forma a determinar o local da colocação dos perfis da estrutura auxiliar de suporte, e por consequência, a localização das cantoneiras de suporte, as juntas entre placas, sendo também responsável pela racionalização dos cortes e consequentes desperdícios das placas.

As dimensões das placas de grés porcelânico, geralmente utilizados como revestimentos para as fachadas ventiladas, têm medida modular de 300mm, sendo que as suas dimensões nominais variam de 300mm x 300 mm a 600 x 1200 mm.

A montagem da maioria dos formatos prevê juntas que variam de 5 a 10 mm, que se mantêm fixas graças às características construtivas.

Para a racionalização do sistema construtivo é de fundamental importância, que na fase de projecto, seja considerada uma medida modular cerâmica, a fim de se produzir um revestimento formado, na sua grande maioria, por peças cerâmicas inteiras, o que traz grandes vantagens económicas e estéticas.

É também de extrema importância, o desenvolvimento de elementos modulares, como é o caso das caixilharias para os vãos envidraçados, de modo a se obter um sistema totalmente integrado e satisfatoriamente resolvido.

Já no caso de adaptações ou “retrofit’, as medidas existentes normalmente requerem o corte das placas. Deve ter-se em consideração, que uma quantidade excessiva de cortes é antieconómica. Na adaptação do sistema a obras sem qualquer modulação, ou seja, obras que não foram desenvolvidas racionalmente, é necessário propor a optimização da paginação, a coordenação modular, uma vez que, a perda de material decorrente do número excessivo de cortes, a utilização de maior número de montantes e o excesso de mão-de-obra necessária para ajustes, vai contra a construção em série, podendo inviabilizar economicamente a utilização do sistema.

Portanto, a primeira atitude a ser tomada, em termos de projecto, é um estudo gráfico que possibilite a verificação da melhor distribuição das placas sobre a fachada, em planta e alçados. Só assim é possível avaliar com rigor, qual a melhor escolha estética, técnica e económica para o projecto.

3.7 O PROJECTO DE FACHADA VENTILADA EM PLACAS DE GRÉS PORCELÂNICO

O projecto de execução deve levar em consideração as soluções técnicas que serão adoptadas em obra, sendo imprescindível para tal, a consideração dos equipamentos existentes, o espaço físico disponível para o stock do material, a preparação e montagem dos componentes, as possíveis interferências com as demais frentes de trabalho e o cronograma da obra.

Para que realmente atenda às necessidades da produção, o projecto da fachada deve conter:

- Condições para o início da execução dos trabalhos;
- Ferramentas de uso pessoal;
- Equipamentos para transporte vertical e horizontal;
- Definição das plataformas de trabalho;
- Definição dos locais para armazenamento dos dispositivos, componentes e elementos;
- Dimensionamento da equipa de produção;
- Procedimentos de produção;
- Referências, dimensões e características de acabamento das placas de grés porcelânico;
- Paginação das placas cerâmicas, de modo a evitar cortes e estabelecer os parâmetros arquitectónicos;
- Tipo e dimensionamento da fixação a ser utilizada (visível ou oculta);
- Definição da estrutura auxiliar em função do tipo de fixação escolhido, cargas e dimensões das placas;
- Tipo e dimensões das ancoragens a ser utilizadas para a fixação da estrutura auxiliar à base de suporte envolvente da edificação;
- Detalhe das pontes de ligações entre as ancoragens e a estrutura auxiliar;
- Acabamento superficial do elemento de vedação externo;
- Tipo de isolamento térmico e forma para a sua aplicação;
- Detalhe da ligação do sistema com as esquadrias;
- Detalhe dos dispositivos localizados nas aberturas de entrada e saída do ar;
- Espessura das juntas entre as placas de grés;
- Espessura da caixa-de-ar;
- Forma de fixação das ancoragens;
- Tolerâncias e forma de controlo adoptadas.

3.7.1 Juntas entre componentes

As juntas de uma fachada ventilada constituem-se, basicamente, por espaços normalmente deixados em aberto, que separam duas placas de revestimento, com o objectivo de promover o alívio das tensões oriundas das movimentações intrínsecas e extrínsecas ao conjunto, caracterizando um revestimento ventilado.

As juntas de colocação ou juntas entre componentes são as responsáveis pela capacidade de absorver as deformações de origem estrutural e as deformações de expansão e contracção, tanto da base, como aquelas intrínsecas ao revestimento. Além disso, as juntas também são responsáveis pela estanquidade do revestimento e devem permitir uma fácil manutenção. Existem dois tipos de juntas:

- Juntas abertas (juntas sem protecção contra a infiltração de águas pluviais);
- Juntas fechadas (juntas com protecção contra a infiltração de águas pluviais).

3.7.1.1 Juntas abertas

Este tipo de juntas não deve ser utilizado em locais onde as condições climáticas sejam extremas, ou onde o revestimento possa ser danificado por vandalismo. Estas juntas até 3mm de espessura podem impedir que a água atinja a lâmina interna, se esta se encontrar a uma distância igual ou superior a 45mm do revestimento. É recomendável que, no caso da adopção de juntas abertas, a lâmina interna seja resistente à humidade e que as juntas verticais sejam fechadas ou estanques.

As referências bibliográficas [5] indicam ensaios experimentais onde se demonstra que, utilizando placas de grés porcelânico de 600 x 600mm, com juntas 8mm de espessura abertas, são observadas as seguintes situações:

- No caso em que apenas as juntas horizontais são abertas, a percentagem de águas pluviais que penetra na caixa-de-ar é de 5,5%, sendo que desta, 0,3% atinge a lâmina interna, e apenas 0,1% é absorvida por esta.

- No caso em que ambas as juntas entre componentes são abertas (verticais e horizontais), a percentagem de águas pluviais que penetra na caixa-de-ar do sistema é da ordem de 16,1%, sendo que desta, 0,4% atinge o paramento interno, 0,1% é absorvida pela parede e o restante é escoado pelo tardoz da placa ou através da caixa-de-ar. Porém, é necessário deixar claro que estes ensaios

[5] Amaury Antunes de Siqueira Júnior – Tecnologia de fachada cortina com placas de grés porcelanato

dependem das condições climáticas de cada país, devendo ser realizados novos ensaios para a confirmação de tais dados no clima nacional.

A penetração da água pelas juntas é feita pelas seguintes formas:

- Efeito da gravidade;
- Quantidade de movimento;
- Tensão superficial;
- Capilaridade;
- Vento.

O efeito da gravidade, apenas consegue fazer com que a água penetre pelo revestimento, se a borda deste possuir um plano inclinado, que possibilite o seu escoamento para o interior da caixa-de-ar.

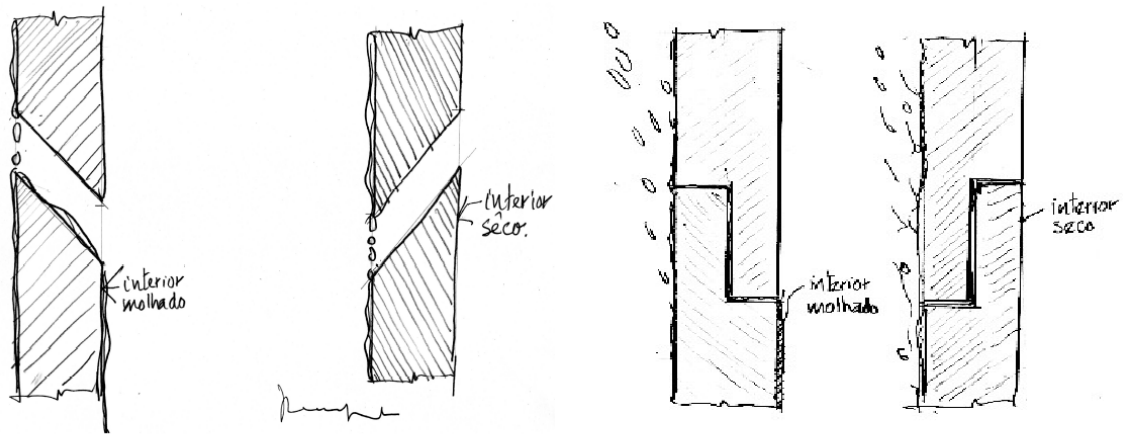


Figura 30 – Penetração da água pelo efeito da gravidade[6]

A quantidade de movimento é entendida como sendo a componente horizontal de energia da chuva, que faz com que a água atinja a superfície do revestimento em determinado ângulo, respingando para dentro do sistema, quando as gotas incidem sobre a junta.

[6] Estanquidade de fachadas – Prof. Doutor Rui Camposinhos

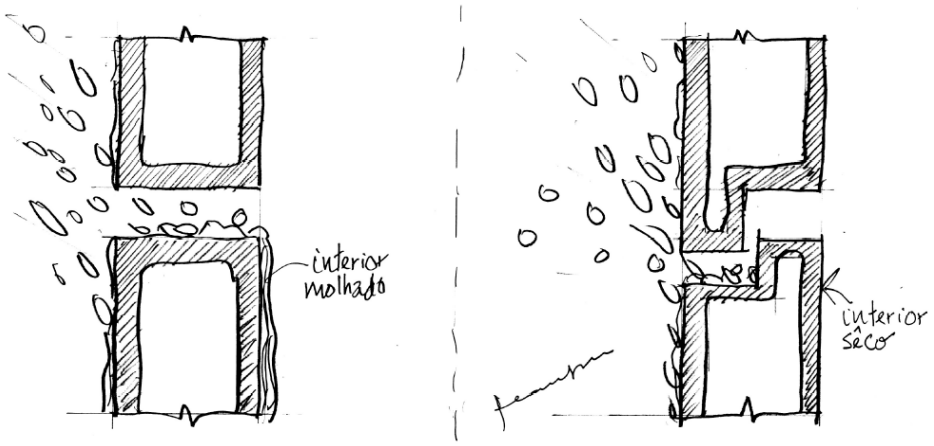


Figura 31 – Penetração da água pelo efeito da quantidade de movimento[7]

A tensão superficial verifica-se quando a água que escorre tende a aderir às superfícies horizontais inferiores dos revestimentos, possibilitando a entrada de água. A criação de uma saliência reentrante (canal) elimina a tensão superficial quando este actua no sentido contrário ao da gravidade.

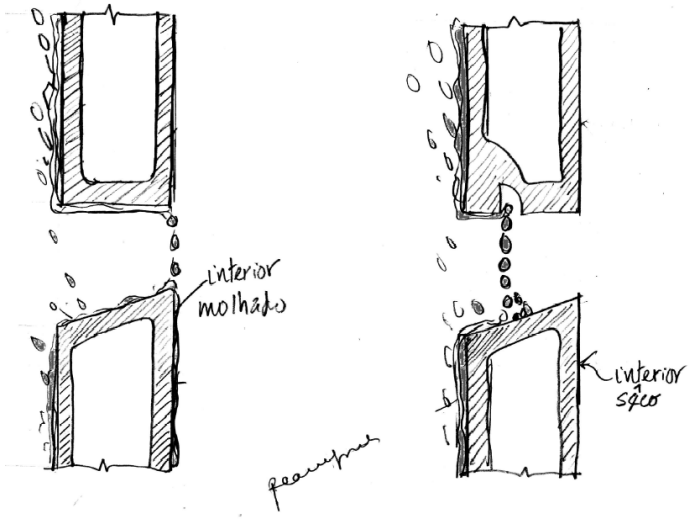


Figura 32 – Penetração da água pelo efeito da tensão superficial[8]

A acção por capilaridade corresponde a tensões superficiais interiores que "empurram" a água através de qualquer pequena abertura, que pode dar passagem às suas gotículas. As aberturas deverão ser de dimensões superiores, impedindo a formação de tensões de capilaridade. No caso mais evidente dos materiais porosos (tijolos/betão), a acção capilar pode ser evitada com a aplicação de uma pintura invisível, à base de silicone, que actua como repelente destruindo as forças de adesão nas paredes dos poros nesses materiais.

[7] Estanquidade de fachadas – Prof. Doutor Rui Camposinhos
[8] Estanquidade de fachadas – Prof. Doutor Rui Camposinhos

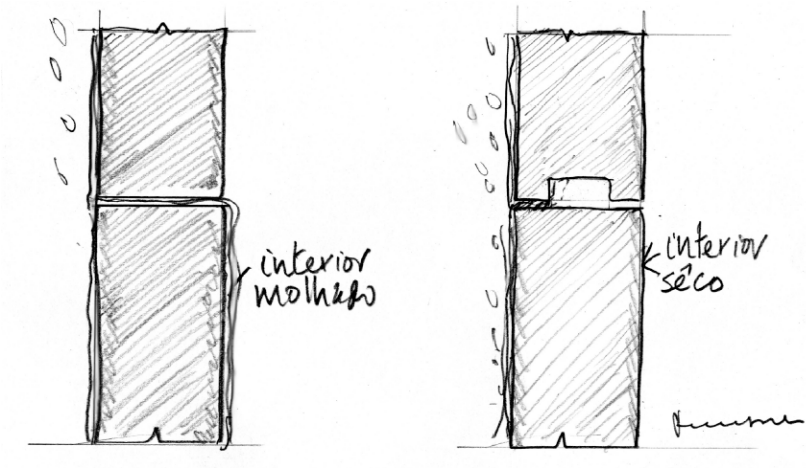


Figura 33 – Penetração da água pelo efeito da capilaridade[9]

Já a diferença de pressão causada pela incidência do vento sobre o revestimento, pode ser solucionada com a adopção do princípio do "rain screen wall" ou "ecrans pare-pluie". A ventilação da caixa-de-ar contribui para a eliminação da diferença de pressão entre o exterior e o interior do sistema, que porventura venha a ocorrer em virtude da incidência de vento sobre o revestimento. Neste caso, existe a necessidade da compartimentação da caixa-de-ar. Este princípio envolve a criação de uma "barreira de ar", no lado interior do revestimento, criando uma abertura (junta) não selada de configuração mais ou menos sinuosa (pára-chuva), originando sobrepressões que equilibram a pressão exterior. Forma-se assim uma câmara de equilíbrio de pressões como é possível verificar nas figuras seguintes.

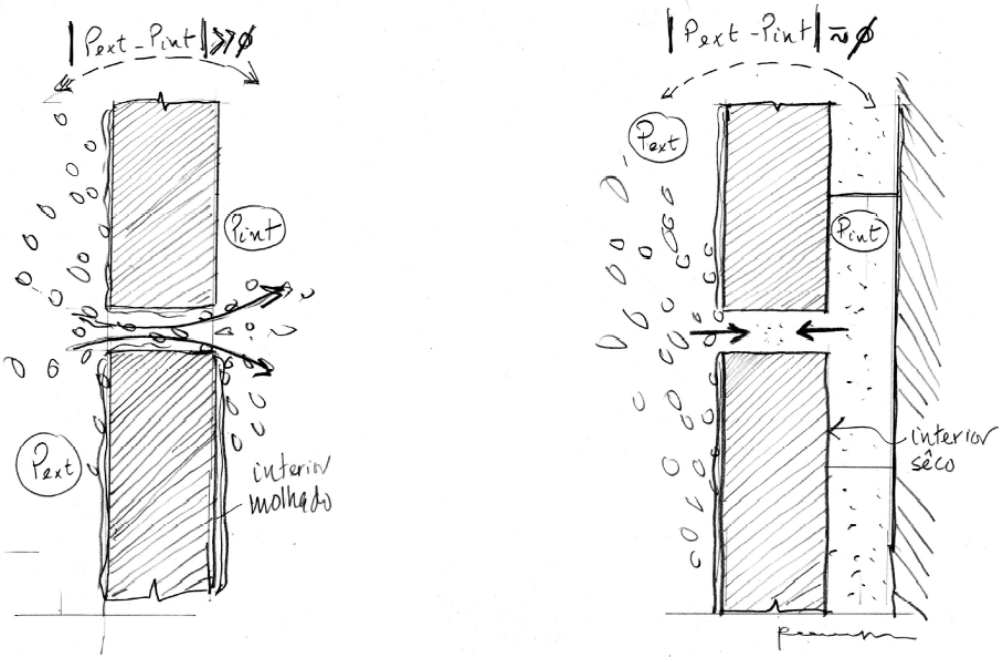


Figura 34 – Controlo da penetração da água pelo efeito da acção do vento (PEC)[10]

[9] Estanquidade de fachadas – Prof. Doutor Rui Camposinhos

3.7.1.2 Juntas fechadas

Estas juntas são caracterizadas pela utilização de uma protecção externa contra a acção da chuva. Deve dotar-se o revestimento de aberturas e de drenos, para se promover a equalização das pressões e o escoamento de água, que porventura penetre para o interior do sistema durante tempestades.

Não devem ser utilizados silicones sem estar previamente testados, devido às possíveis acções de incompatibilidade química com o revestimento e a mudanças de cor, devido às acções dos raios ultravioletas. Por princípio, este sistema de juntas fechadas em fachadas ventiladas, não requer nenhum tipo de protecção das juntas, razão pela qual os silicones utilizados, devem ser de comprovada qualidade.

3.7.2 Dimensionamento da estrutura de suporte

Num sistema de fachada ventilada é necessário dimensionar os elementos de estrutura auxiliar, para as acções actuantes, sejam os perfis de suporte, as ancoragens, as cantoneiras, ou as placas de revestimento. As acções a considerar são as seguintes:

- Peso próprio das placas e todo o material interior de suporte;
- Acção do vento a incidir directamente da fachada, seja sob pressão ou depressão;
- Acções de origem sísmica;
- Solicitações térmicas;
- Acções devido a deformações estruturais;
- Cargas de impacto;
- Acção do fogo;

Devem ser considerados os coeficientes de majoração das acções e os coeficientes de minoração das capacidades resistentes dos materiais, de acordo com o indicado pelo Regulamento de Segurança e Acções e os Eurocódigos. Deve ter-se como objectivo, garantir o nível de fiabilidade regulamentar, para eventuais anomalias que possam surgir no decorrer da vida útil da fachada, como é o caso de variações dos carregamentos aplicados, variações nas secções dos elementos

[10] Estanquidade de fachadas – Prof. Doutor Rui Camposinhos

estruturais, variações da resistência dos materiais, perda de resistência com o tempo e erros construtivos.

Existe um aspecto deveras importante que deve ser considerado também no dimensionamento. Neste tipo de fachadas com caixa-de-ar, para além das sucções e pressões geradas perpendicularmente à fachada do edifício, são também geradas sucções importantes nos cunhais, onde as pressões são muito superiores. Estas devem ser consideradas tanto para o dimensionamento das placas, como da própria estrutura.

Devem também ser realizados ensaios de tracção e corte nas ancoragens fixadas na base, a fim de verificar a sua segurança aos esforços de dimensionamento. Estes ensaios servirão como parâmetro para a avaliação do desempenho da base de fixação, determinando o espaçamento possível entre ancoragens, que servirá como base para a escolha e dimensionamento do perfil da estrutura auxiliar.

Para a estrutura auxiliar de suporte consideram-se as ligas de alumínio, correntemente utilizadas no mercado nacional e que se descrevem no quadro seguinte de acordo com a nomenclatura do Eurocódigo 9.

Liga – designação – EN – AW - 6063	**Espessura das paredes dos perfis (mm)**	**Tensão de cedência (MPa)**	**Tensão de rotura (MPa)**
Têmpera T5	$3 \le t \le 25$	120	160
Têmpera T6	$t \le 10$	170	215

Segundo o EC9 devem para efeitos de cálculo ser consideradas as seguintes características para o alumínio.

E – Módulo de Elasticidade (GPa)	**G – Módulo de Elasticidade Transversal (GPa)**	**ν - Coeficiente de Poisson**	**α - Coeficiente de dilatação térmica linear**	**ρ - Massa específica (kg/m3)**
70	27	0.3	23E-6	2700

3.7.2.1 Estados limites de utilização

Na verificação dos estados limites de utilização, tem relevância o cálculo da deformação no plano perpendicular aos planos da fachada, pelo que se devem determinar as flechas horizontais máximas, resultantes da acção do vento.

O cálculo é feito em regime elástico, considerando-se as acções de cálculo para as combinações frequentes de acções — estados limites de curta duração. Neste caso, a acção do vento é considerada com o seu valor raro, ou seja, com o seu valor característico.

As flechas são calculadas considerando a secção bruta dos perfis, não podendo o seu valor máximo ultrapassar os seguintes limites:

- Deslocamento máximo instantâneo superior a L/250 do vão, sendo L o comprimento livre entre apoios do perfil;

- Em caso algum deve o deslocamento máximo ultrapassar 1,5 cm.

3.7.2.2 Estados limites últimos de resistência

Para a verificação dos estados limites últimos de resistência, os factores parciais de segurança a considerar, quando se considera a secção bruta e a secção líquida dos perfis, são respectivamente os seguintes:

$$\gamma_{M1} = 1{,}1 \qquad \gamma_{M2} = 1{,}25$$

As resistências características a considerar devem ser:

f_0 – Resistência à flexão e à cedência por compressão e tracção em secção bruta;

f_a – Resistência à flexão e à cedência por compressão e tracção em secção líquida;

f_v – Resistência ao corte.

onde:

$$f_0 = f_{0,2\%}; f_a = f_u; f_v = \frac{f_0}{\sqrt{3}}$$

Os elementos devem ser calculados verificando:

- Resistência à flexão:

O valor de cálculo do momento resistente M_{Rd} é dado pelo menor dos seguintes valores:

$M_{aRd} = f_a \times W_{net} / \gamma_{M2}$ - Para uma secção líquida;

$M_{Rd} = f_0 \times \alpha \times W_{el} / \gamma_{M1}$ - Para uma secção bruta;

onde:

W_{el} / W_{pl} — factor de forma

W_{el} — Módulo de flexão elástico da secção bruta;

W_{pl} — Módulo de flexão plástico da secção bruta;

W_{net} — Módulo de flexão elástico da secção líquida;

- Resistência ao corte:

A condição a satisfazer em qualquer secção é:

$V_{Sd} \leq V_{cRd}$, em que V_{cRd} é o esforço resistente de cálculo do perfil ao corte, sendo:

$$V_{cRd} = A_v \times f_v / \gamma_{M1}$$

$A_v = 0{,}6 \times A$ - para secções fechadas

$A_v = \Sigma_1^n 0{,}8 \times (D \times t_w)_i$ - para secções abertas

n – nº de nervuras que compõe a secção;

tw – espessura de cada nervura da secção;

D – dimensão da secção do perfil, medida a partir das faces exteriores da alma.

- Resistência ao efeito combinado da flexão e corte:

Na presença simultânea de esforços de flexão e corte, o valor da tensão característica de resistência à flexão f_0, deve ser minorado quando o valor de V_{Sd} for superior a mais de **50%** do valor de cálculo do esforço transverso resistente, $V_{c,Rd}$. Neste caso o momento resistente deve ser calculado a partir da seguinte expressão:

$M_{a,Rd} = f_{aw} \times W_{net} / \gamma_{M2}$ - Para uma secção líquida;

$M_{c,Rd} = f_{0w} \times \alpha \times W_{el} / \gamma_{M1}$ - Para uma secção bruta;

em que:

$$f_{0w} = f_0 \times \sqrt{1 - \left(V_{sd} / V_{c,Rd} \right)^2}$$

- Resistência ao bambeamento

O valor de cálculo do momento resistente ao bambeamento $M_{b,Rd}$ é dado pelo seguinte valor:

$$M_{b,Rd} = f_s \times \alpha \times W_{el,y} / \gamma_{M1}$$

onde:

$f_s = \chi_{LT} \times f_0$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\phi_{LT} = 0{,}5 \times \left[1 + \alpha_{LT} \times \left(\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{0,LT} \right) + \overline{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$\alpha_{LT} = 0{,}1$ e $\overline{\lambda}_{0,LT} = 0{,}6$ para secções de classes 1 e 2;

$\alpha_{LT} = 0{,}2$ e $\overline{\lambda}_{0,LT} = 0{,}4$ para secções de classes 3 e 4;

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha \times W_{el,y} \times f_0}{M_{cr}}}$$

ou de uma forma conservadora, $\overline{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_0}{E}}$

$\lambda_{LT} = {l}/{i_z}$

$\alpha \leq {W_{pl}}/{W_{el}}$ — factor de forma

W_{el} — Módulo de flexão elástico da secção bruta;

M_{cr} - Momento crítico – Anexo H do EC9

l – Comprimento efectivo de bambeamento

i_z – Raio de giração da secção bruta no eixo fraco.

<u>- Resistência à encurvadura</u>

$N_{b,Rd} = {f_s \times A}/{\gamma_{M1}}$

onde:

$f_s = \chi \times \eta \times k_1 \times k_2 \times f_0$

$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$

$\phi = 0{,}5 \times \left[1 + \alpha \times \left(\overline{\lambda} - \overline{\lambda}_0 \right) + \overline{\lambda}^2 \right]$

$\alpha = 0{,}2$ e $\overline{\lambda_0} = 0{,}1$ para secções laminadas a quente;

$\overline{\lambda} = \sqrt{\frac{A \times \eta \times f_0}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$

$\lambda = {l_e}/{i}$

$l_e = l \times k$

$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{\eta \times f_0}}$

$\eta = 1$ - Secções de classe 1, 2 e 3

$\eta = {A_e}/{A}$ - Secções de classe 4

N_{cr} - Carga crítica de Euler;

l_e – Comprimento efectivo de encurvadura;

i_z – Raio de giração.

$k_1 = 1$ – Secções simétricas

$k_2 = 1$ – Secções sem soldas

$k = 0{,}7$ – Encastramento e apoio simples

$k = 1$ – Simplesmente apoiado

$k = 0{,}5$ – Encastramento duplo

$k = 2$ – Encastramento em consola

3.7.2.3 Materiais correntemente utilizados na estrutura de suporte

Para a escolha dos materiais constituintes da estrutura de suporte e acessórios de fixação, deve ter-se em conta que, na maioria das vezes, não é possível a realização de inspecções neste tipo de fachada, portanto, uma vez instalados, dificilmente os componentes metálicos poderão ser inspeccionados. Por esta razão, apenas devem ser considerados os materiais que resistam à acção do meio corrosivo, além de apresentar as propriedades mecânicas suficientes e características de fabricação adequadas. Desta forma, apenas o aço inoxidável e o alumínio são aceitáveis para este tipo de fixação, devendo ter em consideração a incompatibilidade por par galvânico, isto é, processo corrosivo resultante do contacto eléctrico de materiais diferentes, sendo mais intenso quanto mais distantes forem os materiais na tabela de potenciais electroquímicos. Assim sendo, os materiais devem permanecer inalteráveis ao longo do tempo, sem sofrer ataques de substâncias presentes na atmosfera, a saber:

Aço inoxidável:

- AISI 304: para atmosferas urbanas e industriais isentas de cloretos;
- AISI 316: para atmosferas urbanas, marinhas e industriais que contenham cloretos.

Cobres e suas ligas:

- cobre: recomendado para uso somente em grampos, não devendo ser utilizado em ambientes que contenham ácido sulfídrico e amónia;
- latão: devem ser usadas somente ligas com teor de zinco inferior a 15%;
- bronze - alumínio: recomendado para atmosferas marinhas.

Aço carbono:

- O Aço carbono pode ser usado, desde que galvanizado, nas peças intermediárias ou junto ao suporte, mas nunca deve ser usado em contacto com a pedra.

Alumínio:

- Em atmosferas marinhas ou industriais deve ser usada a liga 6063 - T5, ou superior.

Sendo o aço inoxidável e o alumínio os materiais geralmente utilizados para a execução da estrutura de suporte e fixações das fachadas ventiladas, restringir-se-á a estes metais, a atenção neste trabalho, tratando-se a seguir, as suas principais características.

a) Alumínio

O alumínio é o metal não ferroso de maior consumo no mundo. É o metal mais abundante no planeta, com uma massa específica de 2.71 gramas/cm3, ou seja, é três vezes mais leve que o aço, cobre ou zinco e quatro vezes mais leve que o chumbo.

Possui uma elevada condutibilidade eléctrica, tornando-o um rival do cobre, pois pelo facto de ser três vezes mais leve é muito mais económico de "trabalhar". É um material totalmente reciclável, anticorrosivo, bom condutor eléctrico, não é magnético, nem tóxico para o organismo humano, pode ser fundido, injectado, laminado, forjado, extrudido e soldado.

O alumínio é utilizado em diversos sectores da indústria automóvel, de refrigeração, eléctrica e electrónica, entre outras. No entanto, é na indústria da construção que encontra a sua maior aplicação.

Neste sector, o alumínio é mais usado em forma de perfis, tanto pela sua resistência mecânica como pelas diferentes formas de acabamento que pode receber, que a seguir se descrevem.

Anodizado natural:

A anodização consiste num processo electrolítico de oxidação artificial da superfície dos perfis de alumínio, processo pelo qual se aumenta a resistência às intempéries, apresentando um acabamento regular e liso. As películas anódicas com coloração "prateada", podem produzir-se em diversas espessuras de acordo com as necessidades e exigências.

Anodizado com cor:

Trata-se de um processo de pigmentação electrolítico que se aplica na superfície dos perfis aumentando a durabilidade, uniformidade e estabilidade da cor, mesmo em condições ambientais exigentes.

Este processo de anodização confere um acréscimo de dureza ao alumínio. Consiste na electrodeposição de partículas metálicas nos poros, de uma película anódica, dando ao alumínio coloração em tons de "champanhe", bronze e negro.

Termolacagem:

É realizada por aplicação de uma pintura acrílica e electrostática, com cura por aquecimento, que é aplicada sobre qualquer tipo de perfil ou chapa, protegendo-o ainda mais da corrosão e dos efeitos das intempéries, mantendo a cor original durante várias décadas.

As cores mais utilizadas e que se prestam a este processo são o branco, negro, cores vivas como o laranja, verde, roxo e cores pastel como o cinza prata o branco gesso e o cinza mate.

A resistência à corrosão do alumínio resulta da protecção que lhe é conferida pela película, embora muita delgada, de óxido de alumínio que o recobre.

A diferença de potencial, em mV, entre o alumínio com 99,5% de pureza e outros metais, pode tomar diferentes valores. Como consequência deve ser evitado o contacto entre o alumínio e metais ditos "electropositivos", que na presença de ambientes húmidos, podem originar o efeito de pilha. Desta forma, é de evitar o contacto do alumínio com metais como o magnésio, chumbo, cobre, aço, ferro fundido, aço inox, prata e platina.

O aço não protegido oxida, cujos óxidos mancham o alumínio. Na presença de um electrólito, como a água do mar ou das condensações da humidade atmosférica em ambientes industriais, podem produzir efeitos nocivos localizados. É pois conveniente, evitar o contacto directo com o aço. Nesses casos o aço deve ser tratado, através de zincagem, fosfatação, cadmização, pinturas à base de zinco (cromato de zinco), pinturas betuminosas, ou isolando o alumínio com materiais à base de silicone ou neoprene.

Os parafusos em aço devem ser galvanizados, mas é sempre preferível utilizar parafusos à base de ligas de alumínio ou em aço inox.

O contacto com o cobre e outros metais derivados, tais como o latão e bronze, é perigoso e deve ser sempre evitado. Também são de evitar pinturas à base de óxido de chumbo.

O pó de gesso e de cimento, em presença da humidade, provocam um ataque superficial no metal deixando manchas brancas, mesmo no alumínio anodizado. Estas manchas não têm qualquer influência na resistência, sendo contudo inestéticas. Quando se trabalha com cimento ou gesso na presença de caixilharias, as mesmas devem ser protegidas por fitas ou papel isolador, para evitar este inconveniente.

A maior parte das madeiras secas não exercem qualquer acção no alumínio, contudo, certas madeiras em presença da água ou humidade reagem, dando origem a substâncias ácidas que podem

afectar o alumínio. É pois recomendável que as madeiras sejam previamente envernizadas ou pintadas antes de as pôr em contacto com o alumínio.

O processo de corrosão do alumínio, evolui com uma velocidade significativa, dependendo das condições de exposição do material, provocando a perda do brilho original da peça durante os primeiros anos. Em seguida, a velocidade da corrosão diminui drasticamente mantendo-se estacionária por tempo indefinido.

O sistema de identificação das têmperas é usado para todo o tipo de produtos de alumínio. Consiste na utilização das letras "F, T, H e O" e consequentes subdivisões numéricas, constituídas por um ou mais dígitos. Estes números identificam a sequência dos tratamentos básicos, que afectam de modo significativo, as características mecânicas do alumínio.

- Têmpera do tipo F:

No Fabrico — Aplica-se a produtos obtidos por processos de deformação, sem controlo especial das condições térmicas, nem de endurecimento a frio.

- Têmpera do tipo O:

Recozido — Aplica-se a produtos trabalhados mecanicamente que tenham sido recozidos com o objectivo de baixar a sua resistência para valores reduzidos.

- Têmpera do tipo H:

Endurecido por deformação — Aplica-se a produtos que tenham sido recozidos de forma a obter valores intermédios de resistência.

- Têmpera do tipo T:

Previamente tratado termicamente — Aplica-se a produtos tratados para obter têmperas estáveis com ou sem endurecimento a frio e com o objectivo de aumentar a resistência.

- Subdivisão de têmperas do tipo T:

O dígito que segue imediatamente a letra T, especifica o tratamento térmico a que o material foi submetido:

T4 : Estabilizado e arrefecido rapidamente (envelhecimento natural);

T5 : Estabilizado e envelhecimento artificial;

T6 : Estabilizado, arrefecido rapidamente e envelhecido artificialmente

O processo de extrusão do alumínio consiste na transformação de um lingote previamente aquecido, usualmente cilíndrico, numa peça linear de secção constante, fazendo-o passar por pressão por um orifício (matriz), a partir do qual se obtém a forma e respectiva configuração final da secção do perfil. Após este processo de "formação", obtêm-se o que se normalmente se designa por "perfil de alumínio".

O desenho da abertura da matriz é utilizado de acordo com as necessárias configurações que se queiram obter, dando origem às mais diversas formas geométricas, simétricas ou não sem quaisquer tipo de limitações arquitectónicas. As secções podem ser ocas ou maciças, com dimensões previamente estabelecidas.

As tabelas seguintes identificam algumas das características e propriedades físicas de ligas de alumínio correntes:

Liga-AA	Têmpera	Resistência – tracção MPa (*)	Limite Elástico a 0.2% (MPa) (*)	Extensão (%) pós rotura (50mm)
1060	F	55	30	40
1100	F	77	21	25
6063	F	120	50	18
	T-4	130	60	14
	T-5	155	110	8
	T-6	210	170	8
6261	T-6	260	250	8

(*) Valores mínimos

Figura 35 – Características mecânicas do alumínio

Liga	1060	1100	6063	6261	6361
Têmpera	F	F	T-5	T-4/6	T-4/6
Módulo de elasticidade GPa	70	70	70	70	70
Tensão rotura ao corte Kg/mm^2	6.0	6.0	9.1	0	17.5
Condutibilidade térmica W / c.k a 25 o C	0.53	0	2.09	1.85	1.85
Resistividade eléctrica Wmm^2 / m 20 o C	0.029	0	0.031	0.037	0.038
Densidade g / cm^3	2.71	2.71	2.70	2.71	2.71
Coeficiente de dilatação (10 -6 mm/o C)	23.6	23.6	23.5	23.0	24.0

Figura 36 – Propriedades físicas de ligas de alumínio correntes

b) Aço Inox

Um aço inoxidável é uma liga ferrosa, resistente à oxidação e corrosão, que contém no mínimo 12% de Cromo.

Os aços inoxidáveis mais comuns, AISI 304 e AISI 316, combinam uma alta resistência à tracção e um bom alongamento, oferecendo as melhores propriedades para o trabalho a frio, possuindo uma ampla faixa de propriedades mecânicas, oferecendo boa ductilidade, boa resistência a altas e/ou baixas temperaturas, além de boa trabalhabilidade e soldabilidade, sendo recomendados para utilização como elementos de fixação, devido à sua grande inalterabilidade e resistência mecânica.

Deve ser evitada a associação de metais de naturezas diferentes quando houver a possibilidade de formação de corrosão por par galvânico, caso seja necessário, deve ser aplicado um isolamento eléctrico entre os metais, à base de borracha sintética ou outros materiais equivalentes, com propriedades físico-mecânicas compatíveis com os esforços que estarão submetidos. A figura seguinte mostra a compatibilidade de diversos materiais quando aplicados conjuntamente:

Metais	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
Alumínio bronze e sílica bronze (A)	____	0	0	1	X	X	X	X
Bronze fosfórico (B)	0	____	0	1	X	X	X	
Cobre (C)	0	0	____	1	X	X	X	X
Aço inoxidável austenítico (D)	1	1	1	____	X	X	1	1
Aço comum (E)	X	X	X	X	____	1	X	X
Ferro fundido (F)	X	X	X	X	1	____	X	X
Alumínio (G)	X	X	X	1	X	X	____	1
Zinco (H)	X	X	X	1	X	X	1	____

Legenda: 0 - pode ser usado em contato em todas as condições
1- pode ser usado em contato somente sob condições secas
X- não pode ser usado em contato

Figura 37 – Contacto entre diferentes materiais

De acordo com a tabela anterior, o contacto do aço inox com o alumínio apenas deve ser realizado em condições secas, minimizando assim, a probabilidade da corrosão por par galvânico denominado por efeito de pilha.

3.7.3 Dispositivos de fixação

As fixações podem ser entendidas como os elementos da fachada, que promovem a ligação da estrutura de suporte com a base de suporte da edificação, transferindo para esta as reacções provocadas pelos diversos esforços a que o sistema de revestimento é submetido.

A tipologia de ancoragens existentes no mercado é muito ampla, existindo soluções para a realização de fixações sobre quase todos os suportes. Porém, é necessário garantir que, não apenas uma ancoragem foi bem aplicada, mas que as centenas ou milhares de ancoragens existentes numa fachada reúnem as condições mínimas de segurança necessárias para o sistema.

As várias tipologias ou componentes de ancoragens usualmente utilizados para a execução de fachadas ventiladas, podem ser classificadas em dois diferentes grupos:

- Dispositivos de fixação por adesão química;
- Dispositivos de fixação mecânica.

3.7.3.1 Dispositivos de fixação por adesão química

Os dispositivos de fixação por adesão química são caracterizados pela associação de um epóxico bi-componente ou resina poliéster e barras roscadas ou vergalhões. Existem disponíveis no mercado, diversos tipos de fixação por adesão química: por injecção ou por ampôla e para a fixação em substratos sólidos ou furados.

A técnica para a implantação de fixação por adesão química em substrato sólido, inicia-se com a execução de um furo na base. A resina é então inserida por injecção, sendo os componentes misturados pelo bico de aplicação, finalizando-se com o posicionamento da ancoragem no interior do orifício. Já no caso de bases perfuradas ou vazadas, a fixação dá-se com a introdução de uma camisa perfurada no furo, sendo injectada a resina da mesma forma e posteriormente introduzida a ancoragem. A cura da resina dá-se geralmente entre 30 a 50 minutos após a sua aplicação, em função da temperatura ambiente.

O sistema de fixação química apresenta as seguintes vantagens:

- Elevada capacidade de carga, uma vez que todo o conjunto adere à parede do furo, distribuindo uniformemente as cargas por todo comprimento da ancoragem e proporcionando resistências superiores a uma fixação convencional (em materiais perfurados);

- Não gera tensões passivas no betão, ao contrário das fixações convencionais, a ancoragem química não gera pré-tensão, possibilitando o uso de ancoragens mais próximas entre si e das bordas;

- Resistência a cargas dinâmicas e vibrações;

- Possibilidade de utilização em todos os materiais, tanto em materiais maciços como em materiais perfurados.

A figura seguinte mostra uma bucha química aplicada através de uma camisa numa base perfurada.



Figura 38 – Dispositivo de fixação por adesão química

3.7.3.2 Dispositivos de fixação mecânica

Estes tipos de ancoragens ligam-se à base por intermédio de uma pré-tensão passiva, geralmente provocada pela expansão do sistema de fixação, ou ainda por ancoragem através de sua incorporação ao betão ainda fresco, sendo estes previamente fixados nas cofragens, na posição determinada em projecto.

Existem no mercado uma infinidade destes tipos de dispositivos mecânicos, cabendo ao projectista a escolha do modelo que melhor atenda às suas necessidades.

A figura seguinte mostra um tipo de ancoragem de fixação mecânica muito utilizada correntemente.

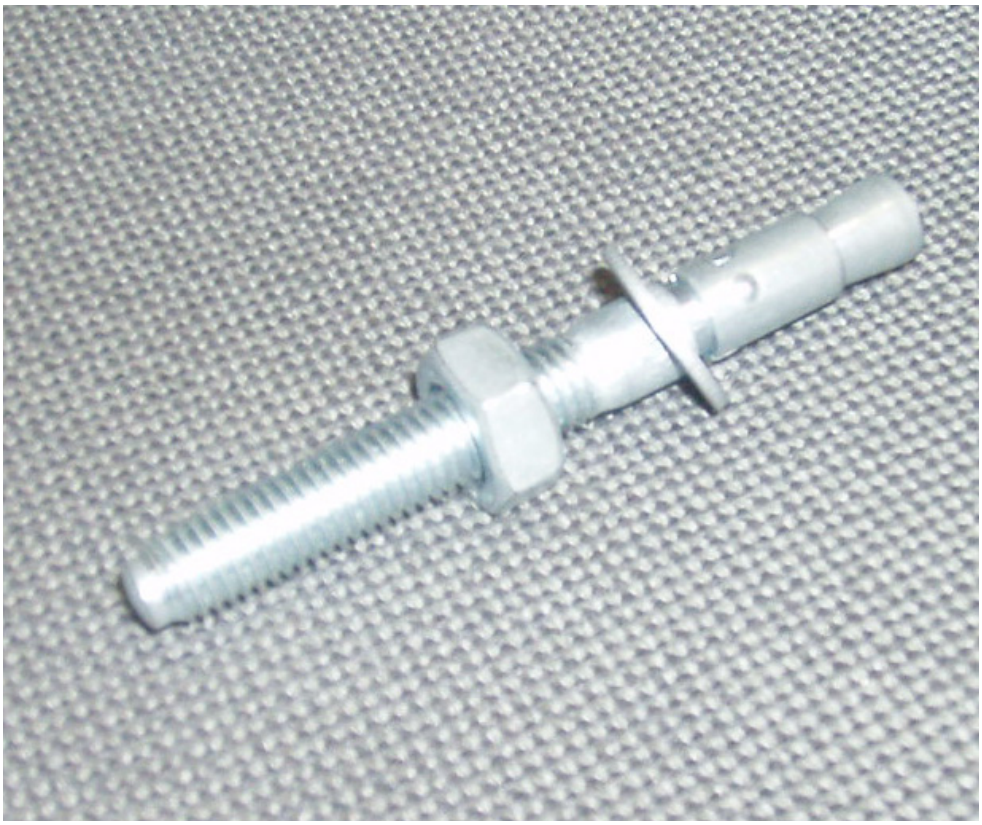


Figura 39 – Dispositivo de fixação mecânica

Neste capítulo foram listadas e apreciadas as principais questões relacionadas com as exigências e requisitos para o projecto de fachadas. Ficam assim criadas condições para dissertar sobre a preparação e controlo da execução.

4 PREPARAÇÃO E CONTROLO DA EXECUÇÃO

Neste capítulo é proposta uma sequência lógica para a preparação da montagem de um sistema de fachada ventilada, bem como abordar os parâmetros de gestão da sua produção.

O processo e o controlo da produção são os factores que definirão a qualidade final do produto, devendo por isso ser tratados com especial atenção.

É fundamental que a empresa de montagem do sistema de fachada, invista na criação de uma metodologia própria. Uma metodologia que seja efectivamente um instrumento de racionalização do processo, que constitua um factor diferenciador em termos de competitividade. A empresa deve equacionar todos os procedimentos, procedimentos esses que servem para estabelecer uma sequência lógica predefinida, fazendo com que as decisões não sejam subjectivas e que as responsabilidades possam ser definidas, possibilitando assim, o planeamento e o controlo do processo de produção.

O processo de produção deve ser precedido por uma fase de preparação para a montagem do sistema, com o objectivo de se estabelecer uma coordenação e se identificar as possíveis deficiências da obra. A empresa de montagem deve equacionar os seguintes itens:

- Análise das interfaces com o sistema de fachada adoptado, identificando-os e propondo as devidas soluções;
- Pormenorização dos projectos de execução;
- Identificação dos pontos críticos e dos pontos de controlo a adoptar;
- Definição das instalações no estaleiro e equipamentos de produção e segurança a ser utilizados;

4.1 ELABORAÇÃO DO PROJECTO DA FACHADA

Normalmente, em contratos celebrados com uma certa antecedência, a empresa de montagem do sistema de fachada determina quais serão as tolerâncias admitidas, para os níveis e prumadas da obra, evitando a produção de ancoragens especiais. Na grande maioria das vezes, o sistema de fachadas é contratado quando boa parte da estrutura e paredes externas da obra, já se encontram executadas.

O projecto de produção da fachada deve ser um projecto interactivo, que depende da presença e actuação do projectista do sistema de fachadas em todas as fases de sua produção.

O projectista deve ter em consideração a complexidade existente na construção de edifícios, onde mesmo atendendo a processos de produção racionalizados com efectivo controlo, surgem inevitáveis imperfeições na base de suporte da fachada. Estas discrepâncias devem ser consideradas na elaboração do projecto da fachada, sendo necessário proceder ao levantamento das condições reais de execução do invólucro da edificação, para então se poder tomar as decisões mais adequadas para a execução do revestimento, principalmente no que diz respeito à planimetria, prumos e tipologia das fixações e ancoragens a ser adoptadas, que devem absorver todas estas imperfeições.

Identificados os pontos críticos do pano de fachada, deve ser verificado se as ancoragens padrão são suficientes para absorver as distorções de prumo e planimetria observadas na obra. Para absorver as eventuais distorções, oriundas do posicionamento das ancoragens e irregularidades do substrato, com o objectivo de se regularizar o prumo e alinhamento do revestimento, as cantoneiras devem ser maquinadas com furos, que permitam a afinação em todos os sentidos. A figura seguinte mostra os furos de afinação numa cantoneira de alumínio.

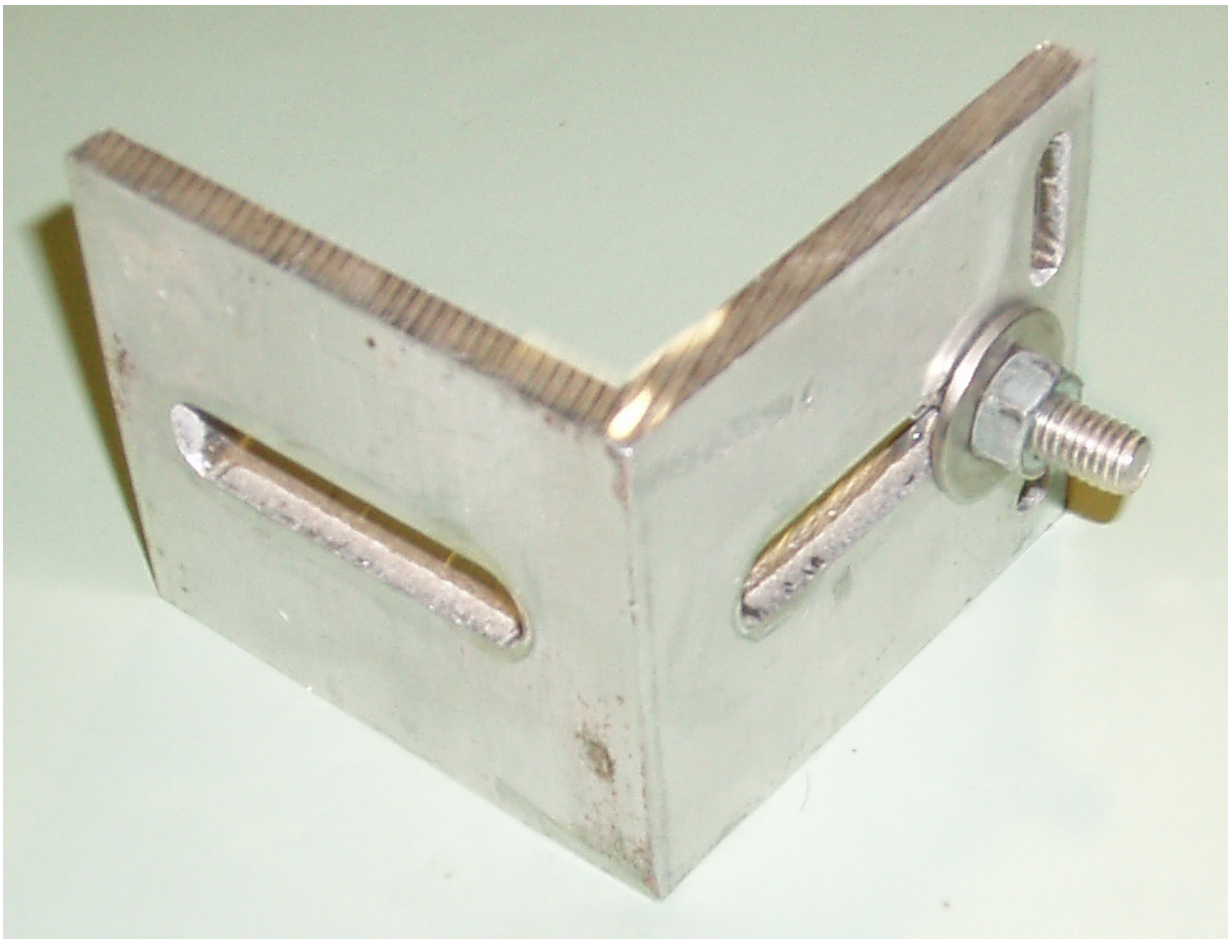


Figura 40 – Cantoneira de alumínio furada com possibilidade de afinação

Em alguns sistemas de fachada verifica-se a impossibilidade de afinação das cantoneiras, resultando na grande maioria dos casos, num desaprumo e falta de regularidade dos planos de fachada, sendo por vezes corrigidas com a utilização de “calços”, conforme pode ser observado na figura seguinte:



Figura 41 – Utilização de “calços” na afinação do prumo dos perfis

4.2 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

O projecto do estaleiro de obras deve fazer parte integrante do projecto da execução da fachada. Neste trabalho, apenas são referidos os aspectos do estaleiro de obra, directamente relacionados com o processo de montagem de sistemas de fachada ventilada.

No estaleiro devem estar previstos os locais para o armazenamento dos materiais, a forma como será realizado o transporte dos componentes até o local de aplicação, visando promover a movimentação com o menor número de interferências possíveis, minimizando as distâncias de transporte e eliminando possíveis riscos de acidentes e quebras de material.

Basicamente, o estaleiro de obra é dividido em elementos ligados à produção, elementos de apoio à produção, sistemas de transporte com decomposição de movimento, sistemas de transporte sem decomposição de movimento, elementos de apoio técnico administrativo, áreas de convívio e outros.

Tratando dos elementos de apoio à produção, os critérios que devem ser levados em consideração para o caso da execução da fachada, são:

a) Zona de preparação da estrutura auxiliar e acessórios:

- Local coberto (para viabilizar trabalho mesmo na chuva);
- Eliminar as possíveis interferências com outros fluxos de material;
- No mínimo, 20 m2 de área disponível.

b) Zona de armazenagem das placas de revestimento:

- O mais próximo possível do equipamento de transporte vertical (gruas);
- Local fechado, próximo ao acesso de materiais (viabilizar a descarga sob responsabilidade do fornecedor);
- Isolar as caixas do contacto com o piso, utilizando barrotes de madeira;

A definição dos equipamentos de transporte vertical e horizontal é de igual importância para a coordenação das actividades no estaleiro, assim como para o planeamento para o abastecimento das frentes de serviço.

Deve ser providenciado um acesso seguro e adequado para a área de trabalho e ao redor desta, sendo todos os equipamentos de transporte vertical devidamente homologados, certificados e testados, para assegurar a conformidade com a normalização vigente.

Os equipamentos de transporte correntes são:

- Grua torre ou móvel, para o transporte das placas para a área de montagem adjacentes em todos os níveis de elevação;
- Elevadores, guinchos ou bailéus, no caso da inexistência de gruas, e empilhadores para o carregamento e a disposição das “palletes”, próximo dos andaimes ou do equipamento de elevação;

Nas figuras seguintes é possível identificar estes tipos de equipamentos de transporte vertical:



Figura 42 – Grua torre



Figura 43 – Grua auto montante



Figura 44 – Guincho ou monta-cargas

A definição dos andaimes é um item crucial para o incremento da produtividade na execução dos trabalhos. É imprescindível a utilização de um andaime de fachada, devendo este ser montado logo desde o início da estrutura e ao longo do desenvolvimento da estrutura em altura. Esta técnica elimina o risco de queda em altura, aumenta a produtividade não só da estrutura, mas também de toda a envolvente exterior, incluindo a montagem da fachada.

Esta técnica de montagem de andaime pode ser observada na figura seguinte:



Figura 45 – Andaime de fachada

Outro equipamento de extrema importância é a mesa de corte. A mesa de corte, como o próprio nome indica, é uma mesa dotada com um disco de corte radial em diamante, onde são feitos os cortes das placas de revestimento em água, de acordo com a estereotomia do projecto da fachada. As mesas poderão ser de corte longitudinal, transversal ou de nível, neste caso o corte é realizado na espessura das placas.

Este equipamento deve estar situado numa base nivelada e o mais próximo possível da zona de montagem. Significa que, deve acompanhar sempre a montagem da fachada. As figuras seguintes mostram os dois tipos de mesa de corte distintos:



Figura 46 – Mesa de corte longitudinal e transversal



Figura 47 – Mesa de corte de nível

Devem ainda ser disponibilizados:

- Plataforma de recepção de materiais para qualquer nível, em número e espaço apropriados para o local e desempenho dos trabalhos;
- Fios e níveis para a marcação dos prumos e alinhamentos longitudinais e transversais;
- Ponto de electricidade 230V e água para qualquer área e nível;
- Instalações sanitárias, e kit's de emergência médica;
- Protecção contra danos físicos nas placas de revestimento a fixar;
- Remoção de entulhos e embalagens, para as áreas de reciclagem;
- Demais acessórios para trabalhos correntes da área.

4.3 TRANSPORTE, MANUSEAMENTO, ARMAZENAGEM E DISTRIBUIÇÃO DAS PEÇAS

Para se evitar danos provocados pelo manuseamento de peças, quer seja na fábrica, quer seja durante o transporte ou no estaleiro de obras, devem ser observadas as seguintes recomendações:

- Devem ser previamente identificados os pontos de apoio e suporte das peças, de forma bem clara e estar devidamente protegidos;
- Deve ser dada a devida formação aos trabalhadores, sobre a forma como será feito o manuseamento, transporte e armazenagem de todos os dispositivos, sendo que as peças especiais que requeiram um manuseamento ou utilização específica devem estar devidamente identificadas.
- Caso os componentes sejam transportados em "palletes", estes devem estar acondicionados de forma adequada, para o manuseamento e com as dimensões e pesos adequados, de forma a evitar quebras.
- As condições de humidade prolongada devem ser evitadas, prevenindo assim eventuais manchas nas placas de revestimento, devido ao contacto destas com a embalagem ou madeiras.
- Separar os metais ferrosos dos não ferrosos, principalmente em condições de humidade, tendo em especial atenção o contacto directo entre o cobre, alumínio e zinco. O alumínio pode também ser atacado pelo cimento e por algumas madeiras que contenham cobre ou sais de mercúrio.

A distribuição das placas de revestimento para as diversas frentes de trabalho deve ser efectuada através de gruas e guinchos, escolha esta, função das características da obra e das características de produção adoptadas, tendo em conta os equipamentos disponíveis em obra e os equipamentos especiais necessários, que proporcionem uma maior produtividade para a montagem do sistema.

4.4 DIMENSIONAMENTO DA EQUIPA DE PRODUÇÃO

O dimensionamento da equipa de produção é de fundamental importância para o planeamento e cumprimento das metas e prazos estabelecidos para a execução da fachada.

O histórico da produtividade da empresa deve ser utilizado para este fim, sendo imprescindível a obtenção de valores comparativos de produtividade para a avaliação do desempenho das equipas, possibilitando que medidas de correcção sejam tomadas imediatamente, quando é notada a baixa de produtividade.

O índice de produtividade por razão unitária, expressa em metros quadrados por homem hora $\left(\frac{m^2}{H \times h}\right)$, serve de indicador de produtividade, indicando quantos metros quadrados um homem consegue montar numa hora. Quanto maior for o valor deste índice, maior será a produtividade da montagem da fachada.

Entretanto, fica claro que alguns factores influenciam directamente a produtividade:

- Existe uma maior produtividade na execução de fachadas com fixação visível (estas não exigem a instalação de guias horizontais, nem a furação da placa de revestimento e seu acoplamento é feito apenas por encaixe);

- Quanto maior o número de cortes e/ou superfícies curvas, menor a produtividade da equipa de produção;

- Quanto maior a dimensão das placas (600mm x 1200mm), maior será a produtividade e menores os custos, uma vez que permite alargar o espaçamento entre os perfis metálicos, diminuindo assim os acessórios utilizados, aumentando o rendimento na montagem;

- Quanto menor a altura da obra, maior a produtividade;

- A utilização de andaimes de fachada ao longo de toda a estrutura proporciona um aumento de produtividade.

É obvio que o dimensionamento da equipa de produção depende da mão-de-obra, do equipamento e das condições de trabalho disponíveis no estaleiro. Para comparar o rendimento de duas equipas de trabalho, estas devem estar separadas a executar o mesmo tipo de trabalho, mas em diferentes panos de fachada.

Como indicador do índice de produtividade, o valor de 1,0 $m^2/H \times h$, é um valor de fácil obtenção para uma equipa inexperiente, valor este que poderá duplicar ou triplicar com o adquirir de experiência.

4.5 CONDIÇÕES PARA O INÍCIO DA MONTAGEM

É recomendado que, quando possível, a montagem da fachada não seja iniciada até que a estrutura do edifício esteja completa. Este procedimento permite a verificação do prumo da edificação, procedendo-se às correcções quando se julgar necessário, assegurando assim, que o revestimento seja colocado de uma forma satisfatória. Caso se opte por iniciar a montagem da fachada antes da conclusão da estrutura do edifício, a fachada poderá sofrer danos pela queda de betão ou outros materiais e pela deformação da estrutura que induz esforços na estrutura de suporte auxiliar da fachada e a distorção da mesma.

Apesar de todas as bibliografias consultadas afirmarem que, na execução de revestimentos não aderidos deve levar-se em consideração as movimentações do substrato, decorrentes das variações dimensionais dos componentes da alvenaria e da estrutura de betão armado, nenhuma delas estabelece um prazo mínimo ideal para o início da execução do revestimento sobre esses substratos. Como regra prática, a montagem da fachada deve ser iniciada após a conclusão da estrutura de betão armado e das alvenarias exteriores, juntamente com as “contras” dos vãos de portas e janelas.

4.6 CONTROLO

O controlo deve fazer parte integrante do projecto da fachada, já que sem o seu estabelecimento, todos os outros procedimentos e especificações não podem ser verificados e avaliados, tornando-se portanto inócuos.

Além do controlo de aceitação para o início dos trabalhos, é de fundamental importância a implantação do controlo de qualidade na execução e do controlo de qualidade na aceitação.

Para a aplicação de uma metodologia de controlo, é de fundamental importância que se estabeleçam as tolerâncias para a aceitação de um determinado serviço, definindo-se quais as medidas a tomar, no caso da existência de não conformidades. As actividades de controlo devem servir também para averiguar a aplicabilidade e confiança do sistema, em função dos critérios de projecto estabelecidos, incluindo-se aqui os critérios utilizados como tolerâncias para a aceitação ou rejeição dos serviços ou parte deles.

Com o intuito de se estabelecer uma directriz para a elaboração do controlo na produção deste tipo de fachadas, discutir-se-á resumidamente a seguir, as etapas de controlo, bem como os principais itens a ser verificados.

4.6.1 Controlo de qualidade na execução

Este controlo tem por objectivo garantir a conformidade da produção com os padrões estabelecidos em projecto, através da verificação contínua do processo de produção da fachada, sendo possível intervir no processo, de modo a corrigir os procedimentos no momento em que ocorram os desvios.

Uma boa construção de fachada ventilada requer operários que tenham notória experiência em obras de instalação similar. Pessoas com pouca experiência devem ser aceites apenas, quando trabalharem numa equipa que possua profissionais altamente especializados. A mão-de-obra deve ser capacitada, de tal forma a permitir a prática do auto-controlo para serviços considerados banais, ou seja, aqueles cuja técnica já foi perfeitamente absorvida pelos operários. Nestes casos, os serviços vão sendo controlados à medida que vão sendo executados, pela própria mão-de-obra. Assim, apenas as passagens mais críticas devem exigir a presença de um controlo externo. Esses pontos devem estar identificados antes do início da execução dos trabalhos e dependem da complexidade do projecto.

Para a formalização deste tipo de controlo podem ser utilizadas fichas destinadas à prática do auto controlo e da gestão das não conformidades que auxiliem a mão-de-obra, bem como os projectistas a acompanhar os resultados dos serviços executados, podendo ser utilizadas também na recepção dos serviços.

Esta forma de controlo permite identificar e evitar a reprodução de técnicas inadequadas e o uso incorrecto de materiais. A sua adopção pode representar um aperfeiçoamento contínuo da mão-de-obra, uma vez que evita a repetição de práticas indesejáveis, além de estimular o uso de técnicas mais eficientes para a execução do serviço. Permite ainda, obter a catalogação e documentação

adequada dos materiais e técnicas utilizadas e os resultados obtidos, tornando-se num documento valioso para futuros levantamentos de pesquisa, bem como para o diagnóstico e tratamento de eventuais manifestações patológicas. Este controlo poderá ser executado de forma global ou através de amostragem.

A seguir são apresentados itens importantes, que devem ser verificados no controlo da qualidade na execução de uma fachada ventilada:

a) Preparação da envolvente de suporte vertical:
   - Verificação da necessidade de tratamento superficial;
b) Definição do plano de revestimento:
   - Prumos;
   - Esquadrias;
   - Nivelamento das ancoragens;
   - Posicionamento da estrutura auxiliar.
c) Montagem das placas de revestimento:
   - Ajuste das placas ao suporte utilizado;
   - Alinhamento e prumo das juntas;
   - Espessura das juntas verticais e horizontais;
   - Alinhamento das placas;
   - Aderência dos elementos de fixação;
   - Número de suportes por placa;
   - Limpeza e desobstrução da caixa-de-ar;
   - Obediência às juntas de dilatação.

A etapa de fixação, tanto das ancoragens como das placas, deve ser rigidamente controlada. Deve-se certificar que o tipo e a quantidade de ancoragens estão de acordo com o especificado em projecto e que estas estão devidamente instaladas, principalmente nos locais de difícil acesso, que dificultam uma verificação posterior. Deve ser impedida uma inadequada junção de metais que permita a formação de pares galvânicos. Os apertos exagerados e dobras nas ancoragens e cantoneiras, para acomodar inexactidões ou erros de execução, não devem ser consentidos.

4.6.2 Controlo de qualidade na aceitação

O controlo da qualidade na aceitação da fachada, para além de funcionar como recepção do trabalho realizado, é também utilizado como um instrumento fundamental para a avaliação de todo o processo desde a fase de projecto, contribuindo para um aperfeiçoamento contínuo.

Para isso, devem ser elaboradas "checklists", que contenham no mínimo os seguintes itens para a verificação na aceitação:

- Alinhamentos, prumo e nivelamento das superfícies;
- Esquadrias, linearidade, nivelamento e prumo do eixo das placas;
- Uniformidade e limpeza das superfícies;
- Execução de juntas, cortes, pingadeiras, intersecção com peitoris, caixas de estore, padieiras, cunhais e os demais detalhes construtivos existentes;
- Limpeza;
- Diversos.

Estando definidos todos os dados de projecto e enunciadas neste capítulo as regras de execução e controlo em obra, ficam criadas as condições para a implementação de um sistema de fachada ventilada específico. Esta matéria é desenvolvida no capítulo seguinte.

5 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO PROTÓTIPO PARA FACHADAS VENTILADAS

Um dos objectivos principais na concretização deste trabalho é o desenvolvimento completo de um sistema construtivo para fachadas ventiladas. Este sistema garante a possibilidade de se adaptar a qualquer tipo de material de revestimento, ser de fácil montagem, manutenção e reparação, grande versatilidade e custos atenuados quando comparados com outros sistemas comercializados em Portugal, oriundos quase na sua totalidade do estrangeiro.

Inicia-se este capítulo, pela escolha do "design" adequado do perfil de suporte e todos os acessórios. Realiza-se o dimensionamento de todos os componentes do sistema, sendo posteriormente ensaiados, para aferir os resultados obtidos no dimensionamento.

É então iniciada a produção de todos os componentes do sistema, para ser posteriormente aplicado num edifício de habitação e comércio, no distrito de Braga. É efectuada uma estimativa orçamental que permitirá identificar os custos relativos dos diversos componentes e por fim incluir um registo fotográfico, da montagem do sistema protótipo desenvolvido.

5.1 DETALHES GERAIS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

A estrutura de suporte desenvolvida, executada em alumínio série 6060 ou 6063 — T5, é composta por perfis verticais, cujo posicionamento é definido em função da estereotomia da fachada (posicionamento das placas cerâmicas sobre o plano da fachada), estabelecida no projecto de execução de obra. Os perfis, por sua vez, são fixados à estrutura em betão armado e às juntas armadas do tijolo da alvenaria, por intermédio de ancoragens em forma de "L", executadas em alumínio da mesma série dos perfis. A ligação dos perfis às ancoragens é realizada mediante parafusos em aço inox A2-70 M6, sendo a distância entre ancoragens estabelecida no projecto de dimensionamento dos perfis, em função da capacidade resistente do perfil à flexão, da capacidade resistente das cantoneiras ao corte, das ancoragens ao arrancamento e ao corte, tendo em conta as acções actuantes, nomeadamente o vento e o peso próprio do revestimento e estrutura auxiliar de suporte.

A figura seguinte mostra a configuração geral do sistema protótipo.

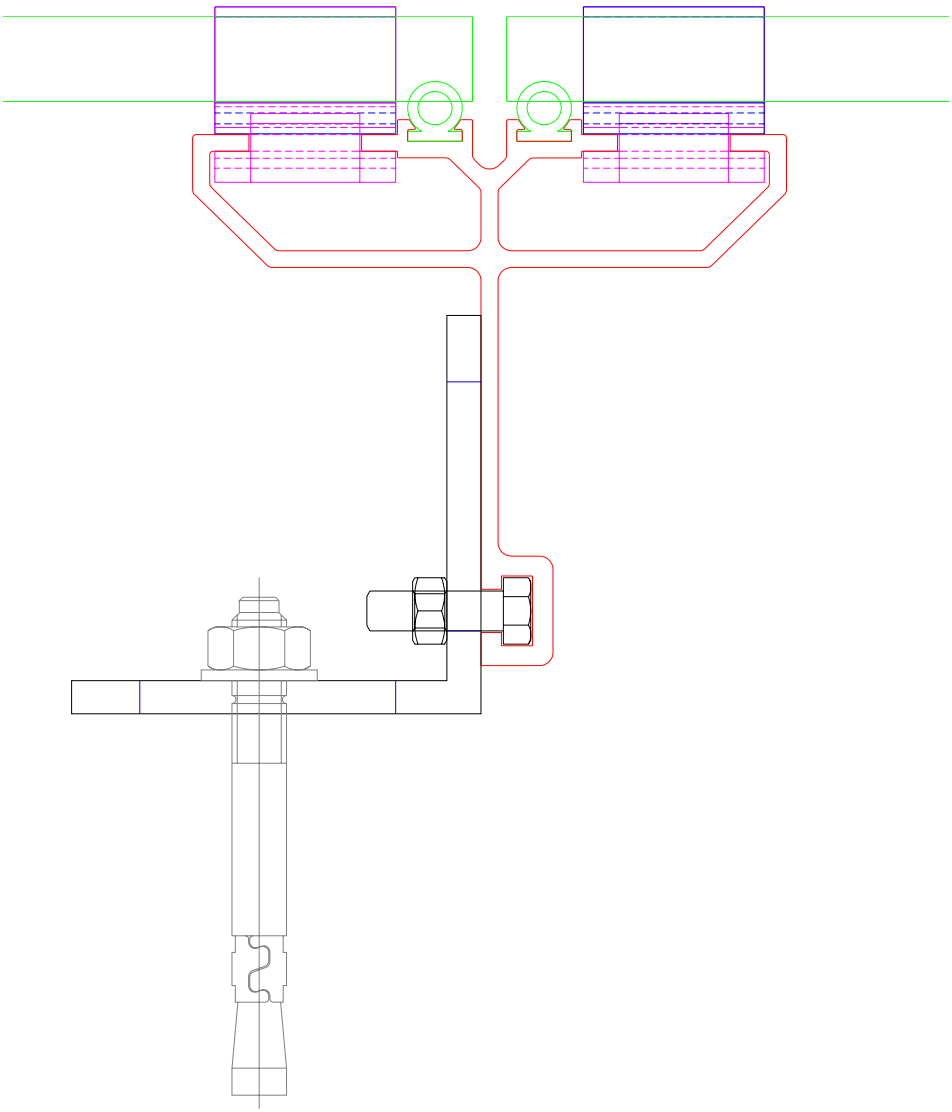


Figura 48 – Esquema geral do sistema protótipo desenvolvido

O perfil de alumínio desenvolvido é o cerne de todo o sistema. Apresenta como principal vantagem, a possibilidade de nele se conectarem todos os elementos (cantoneiras, “clips” e borrachas de apoio), sem a necessidade de qualquer furação ou colagem. O perfil de alumínio é conectado nos apoios por cantoneiras, através de dois parafusos em aço inox A2-70, cuja cabeça sextavada é introduzida num orifício do perfil, precisamente dimensionado para o efeito. A ligação do perfil com os “clips” e borrachas de apoio obedece exactamente ao mesmo princípio. O perfil está concebido para que os “clips” sejam inseridos nas suas aberturas frontais, sendo fixos por pressão e auto-encravamento. A ligação do perfil de alumínio ao perfil de suporte em EPDM é realizada simplesmente por encaixe.

A figura seguinte mostra o perfil na sua forma definitiva.

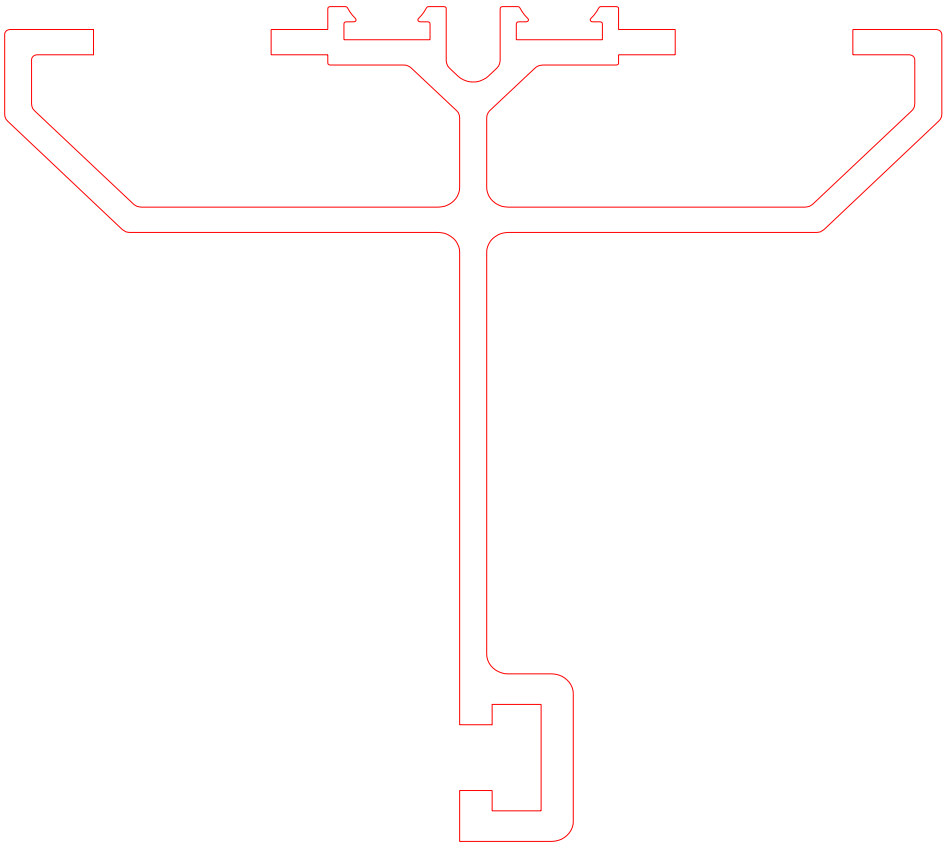


Figura 49 – Perfil de alumínio na sua forma definitiva

São desenvolvidos dois princípios para o funcionamento dos apoios dos perfis nas cantoneiras. Um dos apoios funciona como “apoio duplo”, que se designa como “ponto fixo”. É através dele, que as acções gravíticas se transferem para a estrutura base de suporte, além das acções horizontais. No outro apoio, concebido como “apoio simples”, sendo designado como “ponto deslizante”, apenas se transferem as acções horizontais, permitindo a dilatação térmica do perfil. O ponto deslizante, neste sistema, pode ser posicionado na extremidade inferior dos perfis de forma a que este se encontre traccionado, devido às acções gravíticas. Esta particularidade pode mostrar-se vantajosa, nos casos em que o comprimento do perfil venha a ser condicionante se o mesmo se encontrar em compressão.

As cantoneiras são também responsáveis pelo alinhamento e prumo dos perfis e consequentemente de todo o sistema de fachada, apresentando afinações nos três eixos ortogonais.

A figura seguinte mostra a configuração geral das cantoneiras desenvolvidas.

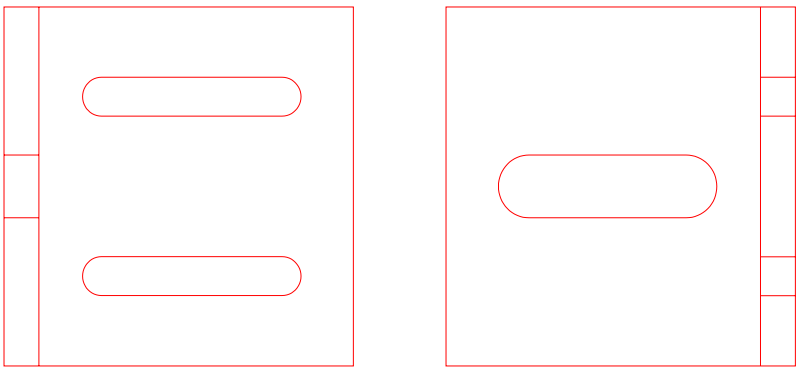


Figura 50 – Cantoneira de apoio dos perfis

No presente estudo foram adoptadas placas de 600mm x 1200mm em grés porcelânico, para o revestimento da fachada. Esta solução foi considerada por permitir obter um maior rendimento na montagem, menos acessórios e uma maior modularidade das peças. Foi escolhida a fixação oculta por intermédio de “clips” em aço inox 304, fixação esta concebida para uma sustentação por pressão e auto-encravamento no perfil, não necessitando de qualquer parafuso ou rebitagem. Estes “clips” possibilitam posteriormente, a aplicação das placas de grés porcelânico, através das ranhuras executadas na sua espessura, como pode ser verificado nas figuras seguintes:

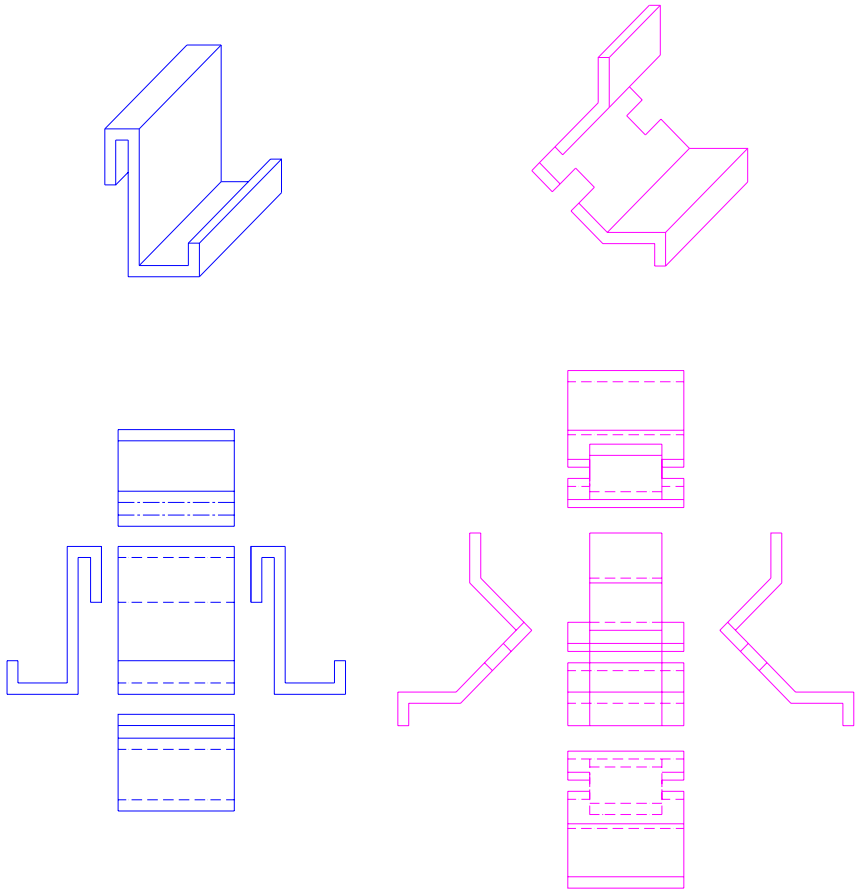


Figura 51 – “Clips” ocultos auto-sustentados

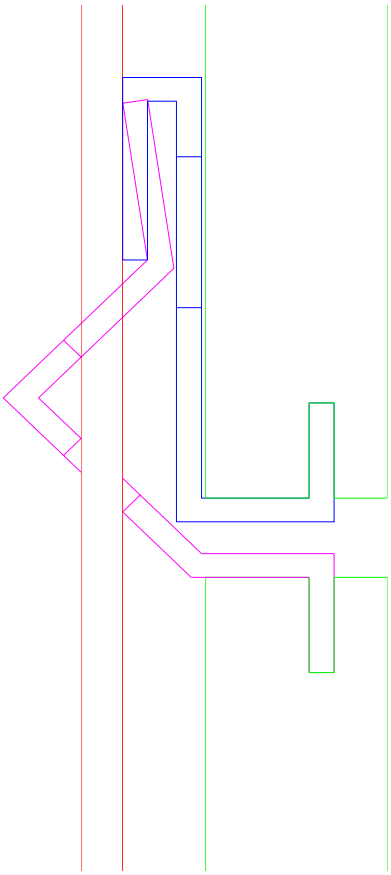


Figura 52 – Acoplamento dos “clips” ocultos auto sustentados em placas de grés porcelânico

Como é possível observar na figura acima, o sistema de acoplamento desenvolvido é composto por duas peças de suporte, que se auto-encravam no perfil, não havendo necessidade de qualquer furação para parafusos ou rebites. O sistema de encravamento dos “clips” de pressão define automaticamente a largura das juntas horizontais entre as placas de revestimento. Há que ter o cuidado de nivelar a primeira fiada de assentamento, impondo a horizontalidade a todos as restantes fiadas. O alinhamento das juntas na direcção vertical é obtido através de uma “bitola”, que encaixa no perfil de forma a definir o correcto espaçamento dos mesmos e consequentemente as juntas verticais entre placas de revestimento. Além desta vantagem, este método de fixação permite que a mesma seja realizada em qualquer ponto, isto é, a qualquer cota do perfil, permitindo ajustes mesmo que milimétricos, até para correcção de uma eventual falta de precisão nas dimensões das placas de revestimento.

Para evitar o contacto directo das placas de grés porcelânico com a estrutura de alumínio são encaixados no perfil de alumínio os perfis em EPDM, que permitem acompanhar todos os movimentos do sistema de forma suave e imperceptível, evitando o surgimento de tensões no revestimento, bem como vibrações e ruídos. A figura seguinte mostra o perfil de EPDM desenvolvido.

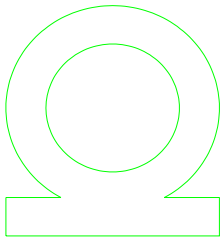


Figura 53 – Perfil em EPDM para apoio das placas do revestimento

O EPDM, utilizado para a extrusão do perfil desenvolvido, possui as características técnicas indicadas na tabela seguinte.

BORRACHA DE ETILENO-PROPILENO-DIENO-MONÓMERO (EPDM)			
PROPRIEDADES	**Unidade**	**Norma**	**Valores**
Peso Específico	g/cm3	DIN 53505	1,24
Dureza	SHORE A	DIN 53504	72
Módulo a 100%	MPa	DIN 53504	3,3
Módulo a 300%	MPa	DIN 53504	7,8
Tensão de Ruptura	MPa	DIN 53504	8,4
Alongamento	%	DIN 53504	330
Temp. de Trabalho	ºC		-40/120
Resistências Químicas			
Ozono			Excelente
Ácidos e Bases diluídos			Excelente
Ácidos e Bases concentrados			Boa
Hidrocarbonetos			Não Recomendada
Dissolventes orgânicos			Moderada

Devido ao elevado coeficiente de dilatação térmica do alumínio, foi desenvolvida uma guia que permite ao perfil de alumínio dilatar ou contrair livremente, conforme as solicitações térmicas aplicadas, evitando assim elevadas tensões em caso de confinamento, que podem encurvar o perfil ou romper com as ligações. Esta guia também garante o prumo na fase de montagem dos perfis, sendo conectada às cantoneiras de ponto ”deslizante”. As figuras seguintes mostram a guia de alumínio e a sua aplicação no sistema desenvolvido.

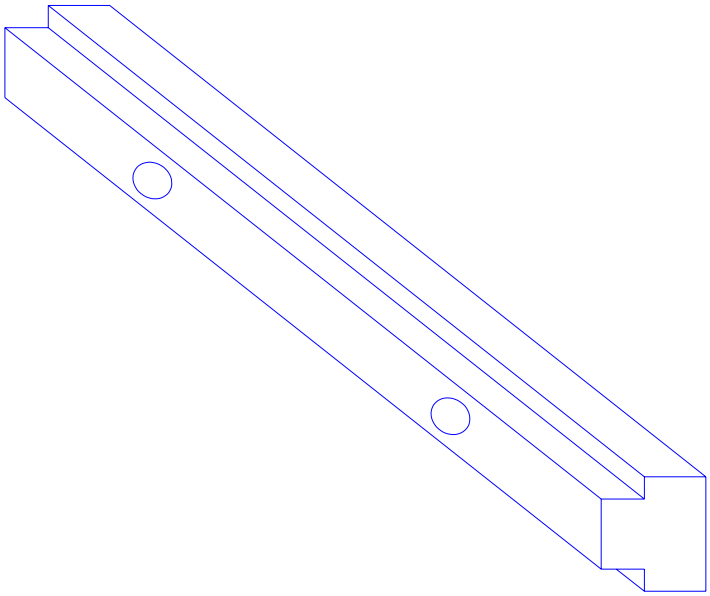


Figura 54 – Guia de alumínio

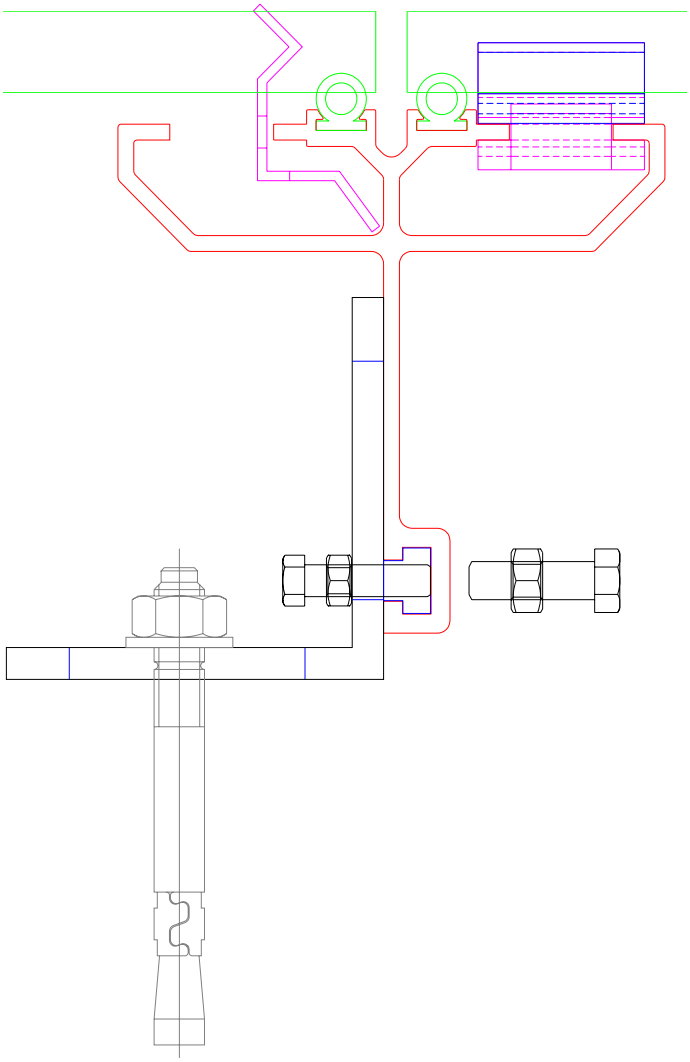


Figura 55 – Aplicação da guia de alumínio no perfil em substituição dos parafusos sextavados

5.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA INTERNA DE SUPORTE

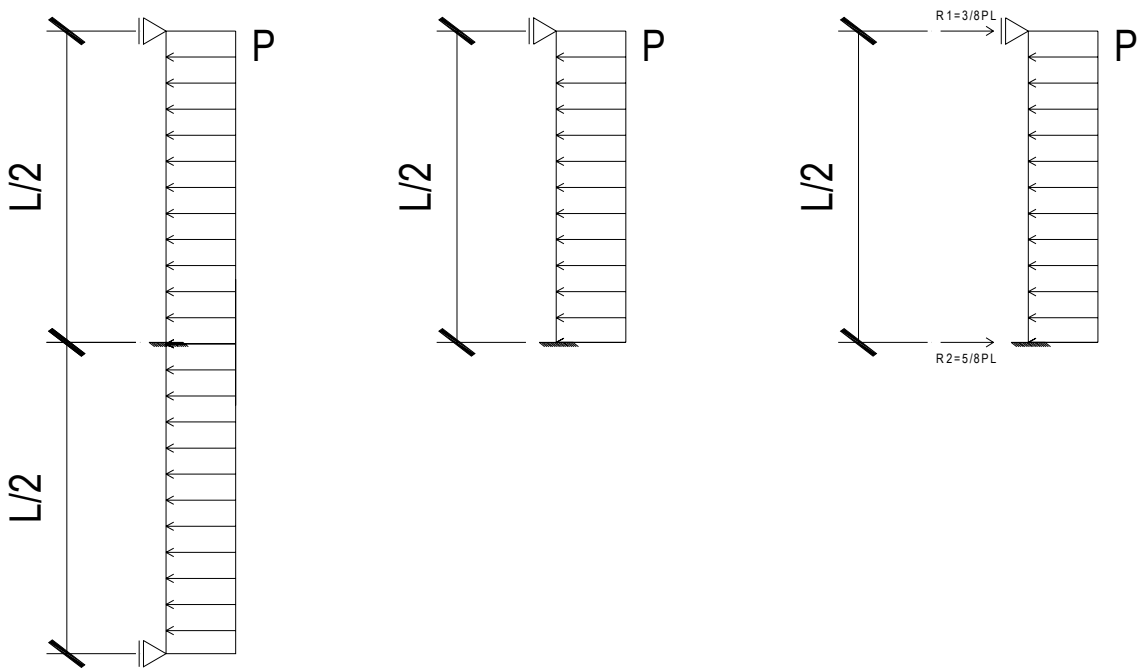
5.2.1 Perfil dimensionado

Características da Secção	
Área da secção (m2)	6,81E-4
Inércia no eixo forte (m4)	4,17E-7
Inércia no eixo fraco (m4)	2,84E-7
Altura total (m)	0,08225
Altura do centro de gravidade (m)	0,05221
Maior módulo de flexão no eixo forte (m3)	1,54E-5
Menor módulo de flexão no eixo forte (m3)	7,56E-6
Raio de giração no eixo forte (m)	0,06045
Raio de giração no eixo fraco (m)	0,02064

Características do Alumínio (EC9) **Liga 6060-35** **Tratamento T5** **Espessuras inferiores a 5 mm**	
Tensão de cedência (MPa)	120
Tensão de rotura (MPa)	160
Alongamento mínimo (%)	8
Coeficiente de dilatação térmica linear (%)	23E-6
Módulo de Elasticidade (GPa)	70

Acções características actuantes	
Pressão dinâmica do vento (kPa)	1,2
Peso próprio da estrutura e do revestimento (kPa)	0,5
Solicitações térmicas (kN) (ΔT=70ºC)	$N = E \times A \times \alpha \times \Delta t = 76{,}7$ (Valor muito elevado, o perfil não pode estar restringido)

5.2.2 Esquema estrutural adoptado



Fazendo $L/2 = l$:

$$V(x) = 3/8 \times P \times l - P \times x$$

$$M(x) = 3/8 \times P \times l \times x - P \times \frac{x^2}{2}$$

5.2.3 Verificação do Estado Limite de Utilização

Pela equação da elástica:

$$y''(x) = -\frac{M(x)}{EI} = -\frac{3/8 \times P \times l \times x - P \times \frac{x^2}{2}}{EI}$$

$$y'(x) = \frac{3/16 \times P \times l \times x^2 - P \times \frac{x^3}{6}}{EI} + A;\ x = l \Rightarrow y' = 0 \Rightarrow A = \frac{-P \times l^3}{48EI}$$

$$y'(x) = \frac{3/16 \times P \times l \times x^2 - P \times \frac{x^3}{6}}{EI} - \frac{P \times l^3}{48EI};\ y' = 0 \Rightarrow x = 0{,}4215l$$

$$y(x) = \frac{-P \times x^4}{24EI} + \frac{P \times l \times x^3}{16EI} - \frac{P \times l^3 \times x}{48EI}$$

$$y_{\max} = y(0{,}4215l) \cong \frac{-5{,}416E^{-3} \times P \times l^4}{EI}$$

$$P_{sd} = 1{,}2 \times 1{,}2 \times 1{,}0 = 1{,}44kN/m$$

$$y_{\max} \leq \frac{l}{250} \leq 0{,}015m \Rightarrow \frac{5{,}416E^{-3} \times 1{,}44 \times l^4}{70E^6 \times 4{,}17E^{-7}} \leq \frac{l}{250} \leq 0{,}015 \Rightarrow l \leq 2{,}45m \Rightarrow L_{máx} = 4{,}90m$$

Diagrama de Carregamento (kN/m):

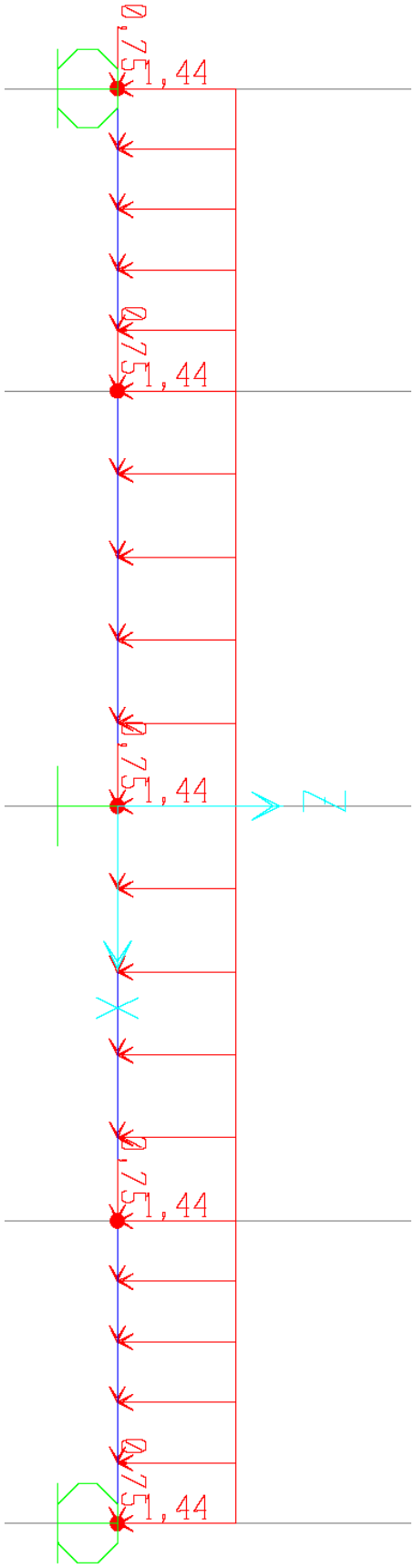


Diagrama de esforço Axial (kN):

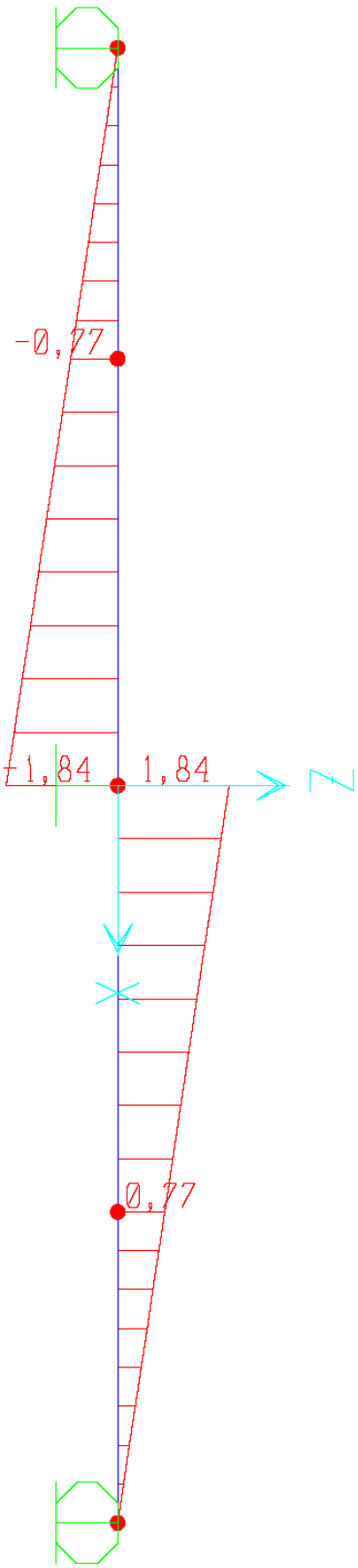


Diagrama de esforço de corte (kN):

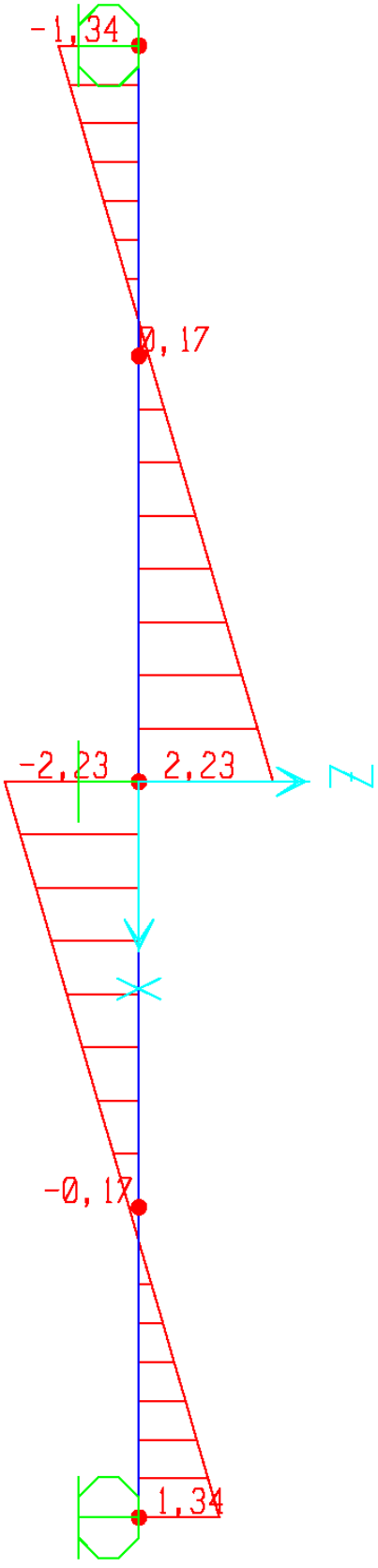
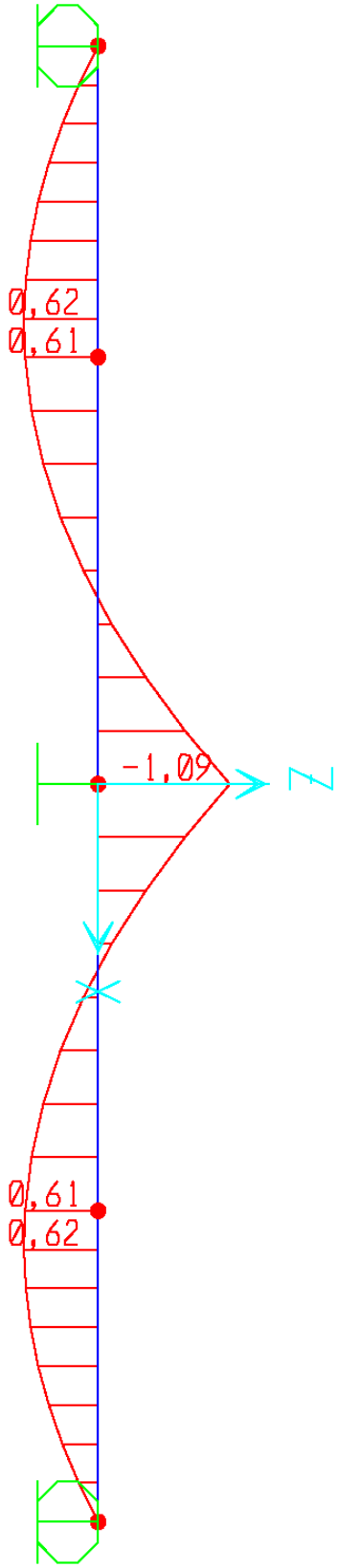
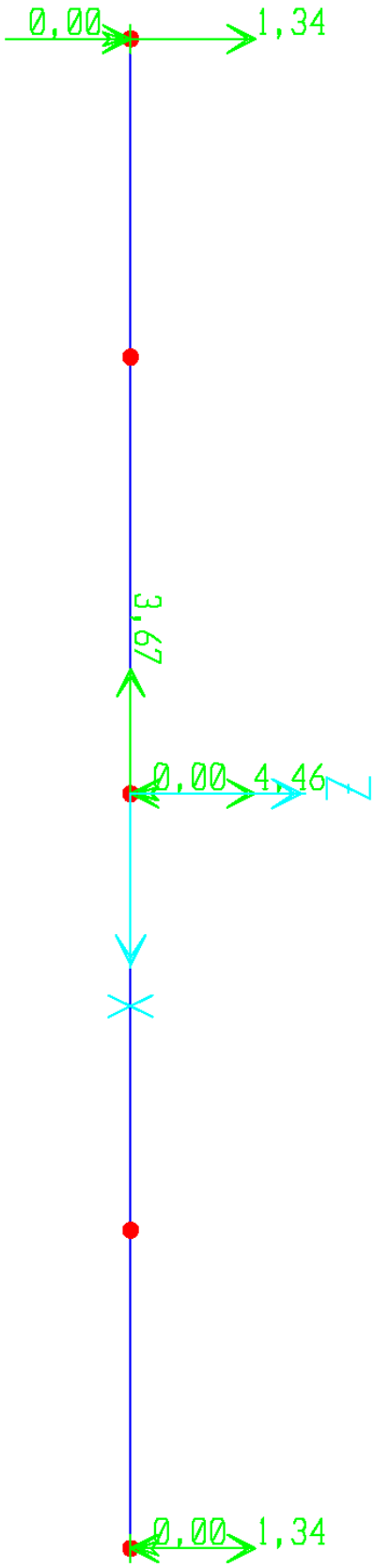


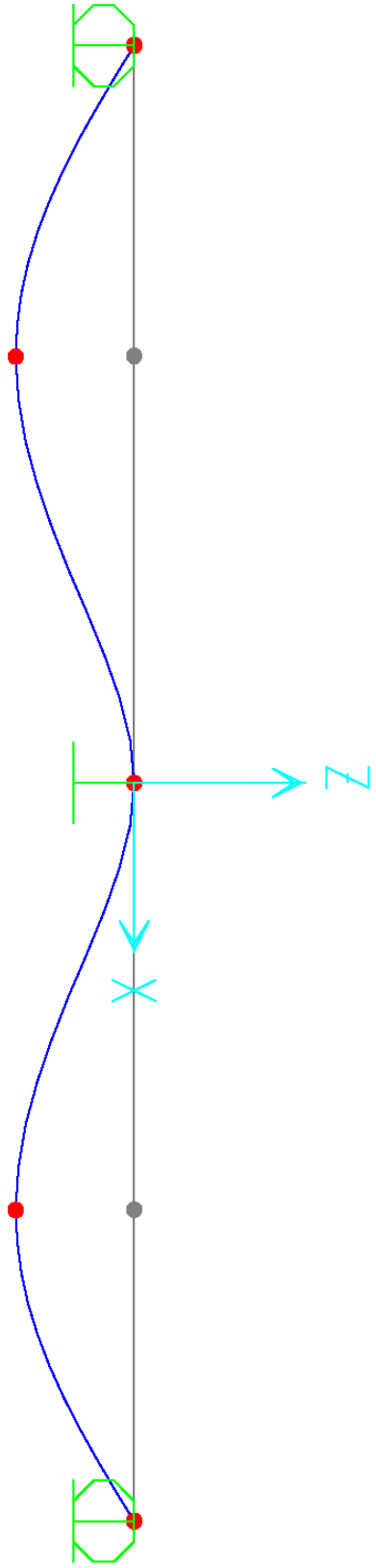
Diagrama de Momentos Flectores (kN.m):



Reacções nos Apoios (kN):



Deformada do perfil:



$$y_{máx}(x = 0{,}4125l) \cong 9{,}81mm \leq \frac{l}{250} = \frac{2{,}45}{250}$$

5.2.4 Verificação do Estado Limite de Ultimo de Resistência

$$P_{sd} = \delta_W \times L_{\inf} \times \gamma_M$$

$$P_{sd} = 1{,}0 \times 1{,}2 \times 1{,}5 = 1{,}8kN/m$$

$$V_{Sd}(x) = {}^{3}\!/_{8} \times P_{Sd} \times {}^{L}\!/_{2} - P_{Sd} \times x$$

$$M_{Sd}(x) = {}^{3}\!/_{8} \times P_{Sd} \times {}^{L}\!/_{2} \times x - P_{Sd} \times \frac{x^2}{2};$$

$$M_{Sd}(máx) = {}^{3}\!/_{8} \times 1{,}8 \times {}^{L}\!/_{2} \times {}^{L}\!/_{2} - 1{,}8 \times \frac{\left({}^{L}\!/_{2}\right)^2}{2} \Rightarrow M_{Sd}(máx) = -0{,}225 \times \left({}^{L}\!/_{2}\right)^2$$

$$V_{Sd}(máx) = {}^{3}\!/_{8} \times 1{,}8 \times {}^{L}\!/_{2} - 1{,}8 \times {}^{L}\!/_{2} \Rightarrow V_{Sd}(máx) = -1{,}125 \times {}^{L}\!/_{2}$$

Verificação à Flexão:

$$M_{Rd} = f_0 \times \alpha \times {}^{W_{el}}\!/_{\gamma_{M1}} \Rightarrow M_{Rd} = 120E^3 \times 1 \times \frac{{}^{4{,}17E^{-7}}\!/_{0{,}03}}{1{,}1} = 1{,}52kN.m$$

$$M_{Sd} \le M_{Rd} \Rightarrow -0{,}225 \times \left({}^{L}\!/_{2}\right)^2 \le 1{,}52 \Rightarrow L \le 5{,}20m$$

Verificação ao Corte:

$$V_{cRd} = A_v \times {}^{f_v}\!/_{\gamma_{M1}} \Rightarrow V_{cRd} = 0{,}6 \times 6{,}81E^{-4} \times \frac{{}^{120E^3}\!/_{\sqrt{3}}}{1{,}1} = 25{,}74kN$$

$$V_{Sd} \le V_{cRd} \Rightarrow -1{,}125 \times {}^{L}\!/_{2} \le 25{,}74 \Rightarrow L \le 45{,}76m$$

Verificação do efeito combinado da flexão e corte:

$$V_{Sd} \le 0{,}5 \times V_{cRd} \Rightarrow V_{Sd} \le 12{,}87kN$$

$$V_{Sd} \le V_{cRd} \Rightarrow -1{,}125 \times {}^{L}\!/_{2} \le 12{,}87 \Rightarrow L \le 22{,}88m$$

Verificação da resistência ao bambeamento:

Fazendo $L/2 = l$:

$$\lambda_{LT} = l/i_z \Rightarrow \lambda_{LT} = l/0{,}02064$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT}\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{f_0}{E}} \Rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = l/0{,}02064\,\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{120E^3}{70E^6}} \Rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = 0{,}6385\times l$$

$\alpha_{LT} = 0{,}2$ e $\bar{\lambda}_{0,LT} = 0{,}4$

$$\phi_{LT} = 0{,}5\times\left[1+\alpha_{LT}\times\left(\bar{\lambda}_{LT}-\bar{\lambda}_{0,LT}\right)+\bar{\lambda}_{LT}^2\right]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT}+\sqrt{\phi_{LT}^2-\bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$M_{Sd} \le M_{b,Rd} = \chi_{LT}\times f_0\times\alpha\times W_{el,y}/\gamma_{M1}$$

Substituindo:

$$-0{,}225\times l^2 \le \chi_{LT}\times 120E^3\times 1\times\frac{4{,}17E-7/0{,}03}{1{,}1} \Rightarrow l \le 2{,}10m \Rightarrow L \le 4{,}20m$$ (de uma forma conservadora)

Verificação de resistência à encurvadura:

$$l_e = l \times k \Rightarrow l_e = l \times 0{,}7$$

$$\lambda = {l_e}/{i} \Rightarrow \lambda = {0{,}7 \times l}/{0{,}02064} \Rightarrow \lambda = 33{,}9 \times l$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{\eta \times f_0}} \Rightarrow \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{70E^6}{1 \times 120E^3}} \Rightarrow \lambda_1 = 75{,}88$$

$$\overline{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{33{,}9 \times l}{75{,}88} \Rightarrow \overline{\lambda} = 0{,}45 \times l$$

$\alpha = 0{,}2$ e $\overline{\lambda_0} = 0{,}1$

$$\phi = 0{,}5 \times \left[1 + \alpha \times \left(\overline{\lambda} - \overline{\lambda}_0\right) + \overline{\lambda}^2\right] \Rightarrow \phi = 0{,}5 \times \left[1 + 0{,}2 \times \left(0{,}45 \times l - 0{,}1\right) + \left(0{,}45 \times l\right)^2\right]$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \overline{\lambda^2}}}$$

$$f_s = \chi \times \eta \times k_1 \times k_2 \times f_0 \Rightarrow f_s = \chi \times 1 \times 1 \times 1 \times 120E^3$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd} = {f_s \times A}/{\gamma_{M1}} \Rightarrow N_{Sd} \leq \frac{\chi \times 120E^3 \times 6{,}81E^{-4}}{1{,}1}$$

Substituindo e admitindo $l_{máx} = 2{,}10m$:

$$N_{Sd} \leq 51{,}4kN$$

Se o perfil fosse sujeito a uma variação térmica de 70ºc e estivesse restringido nos apoios, o esforço axial seria:

$$N_{sd} = E \times A \times \alpha \times \Delta t = 70E^6 \times 6{,}41E^{-4} \times 23E^{-6} \times 70 = 76{,}7kN$$

$N_{Rd} \leq N_{Sd} \Rightarrow$ O perfil não pode ficar restringido nos apoios, terá que contrair e dilatar livremente, estando fixo apenas num ponto e com dois pontos deslizantes.

Diagrama de Carregamento (kN/m):

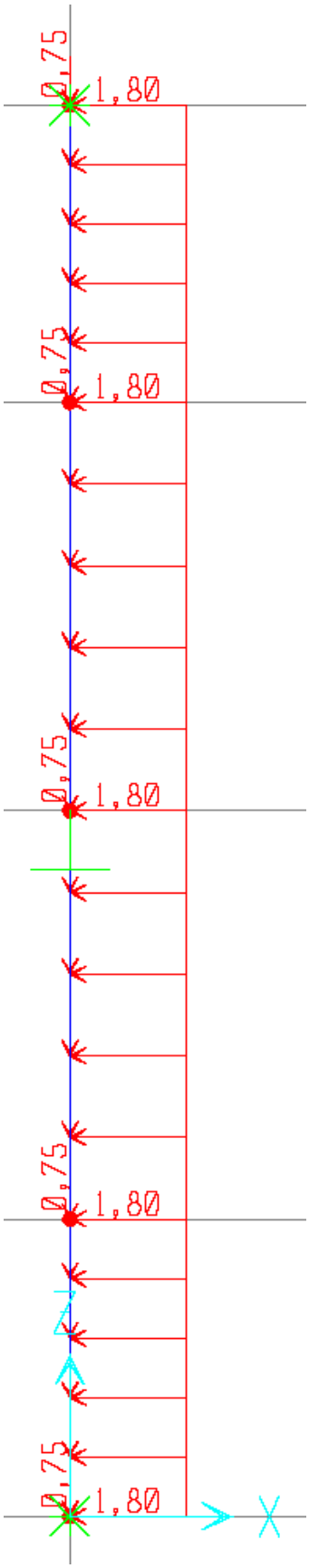


Diagrama de esforço Axial (kN):

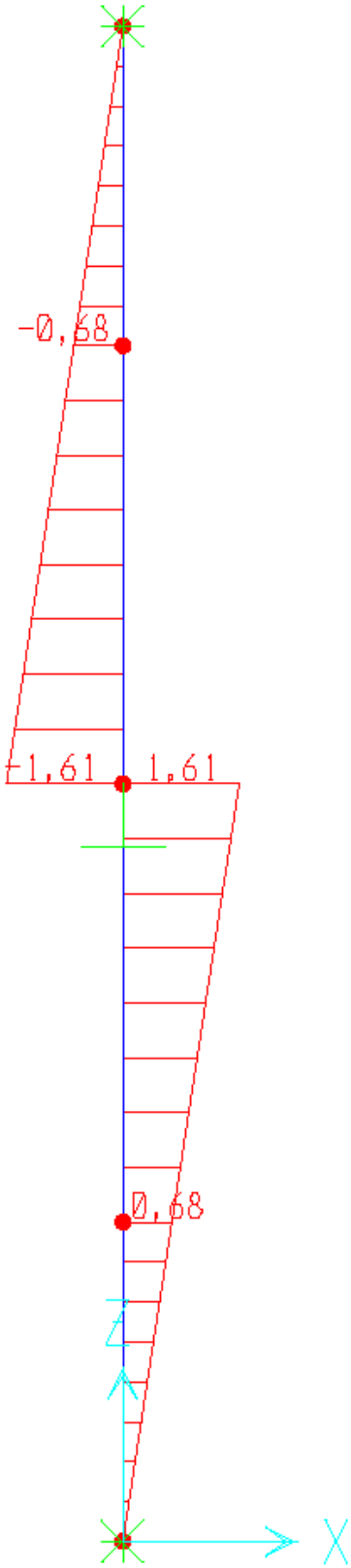


Diagrama de esforço de corte (kN):

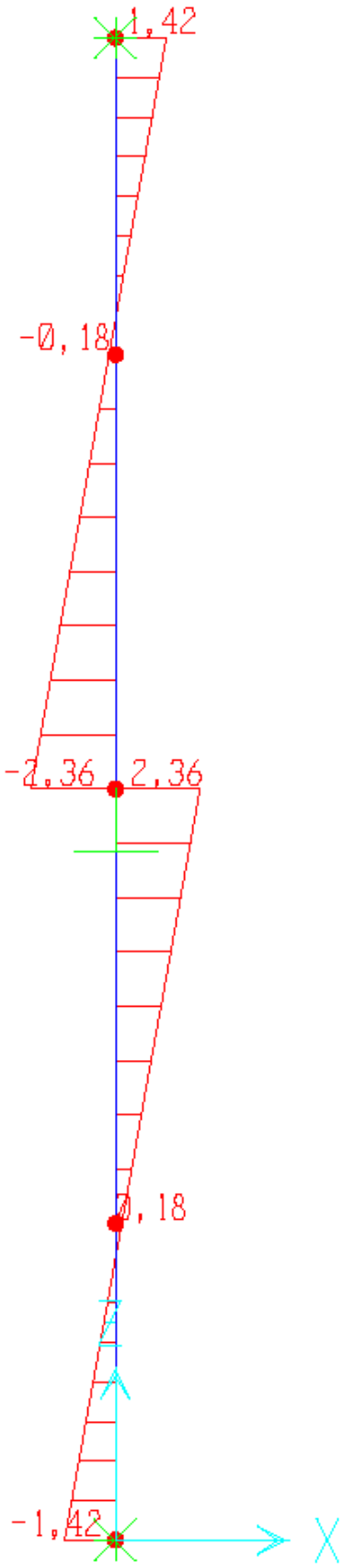
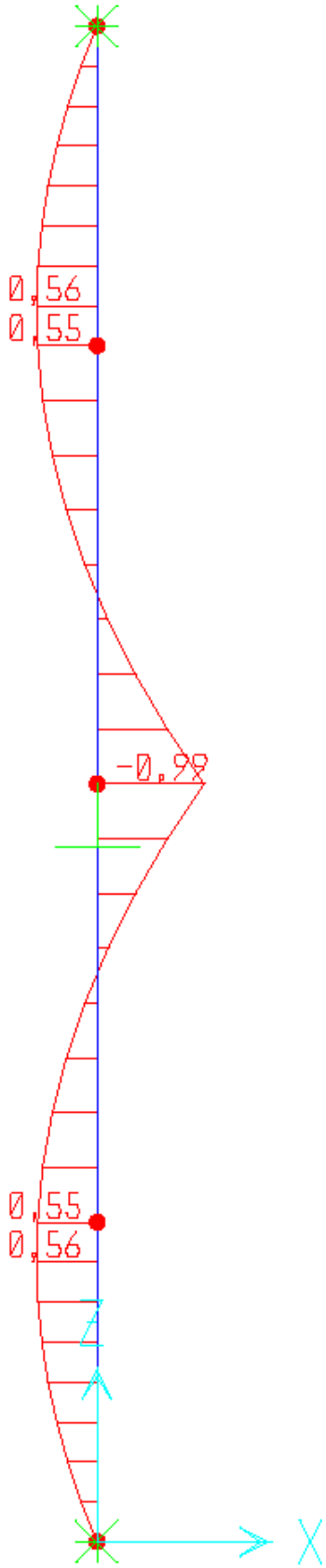
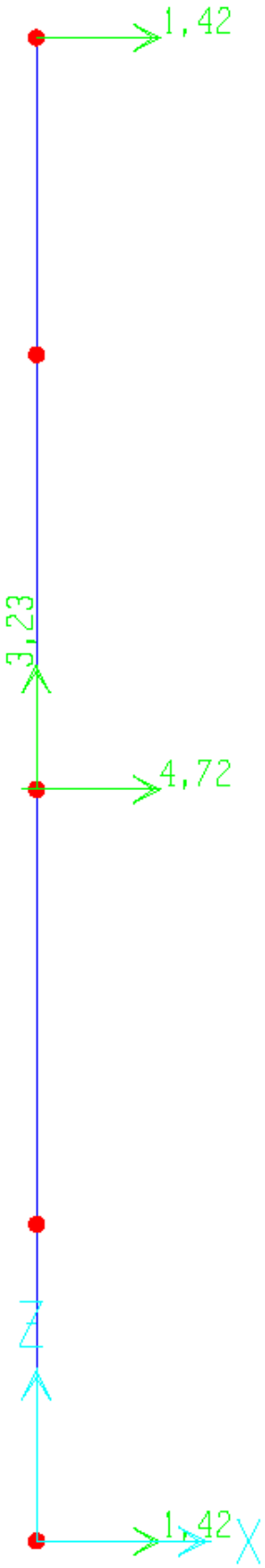


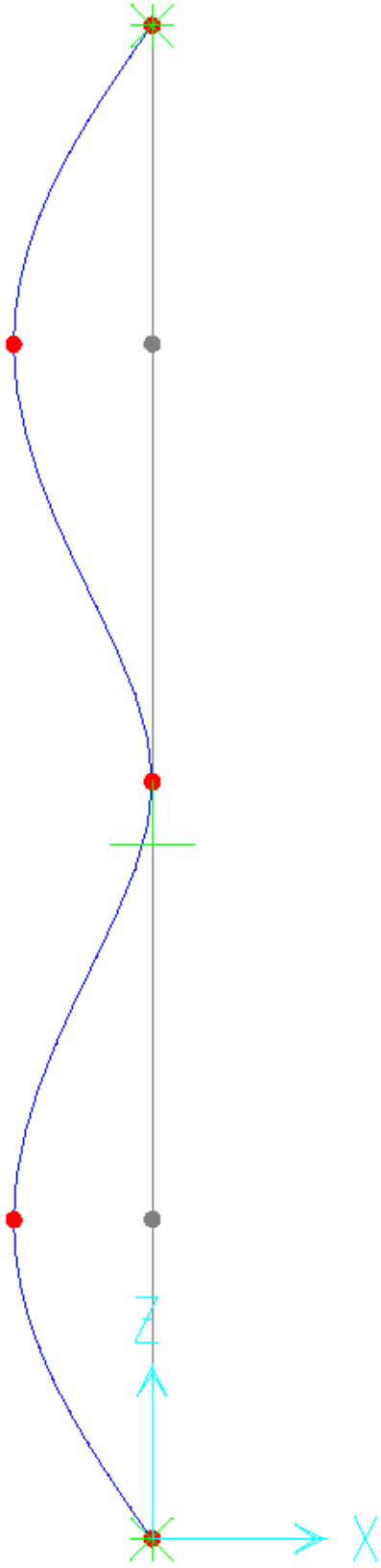
Diagrama de Momentos Flectores (kN.m):



Reacções nos Apoios (kN):



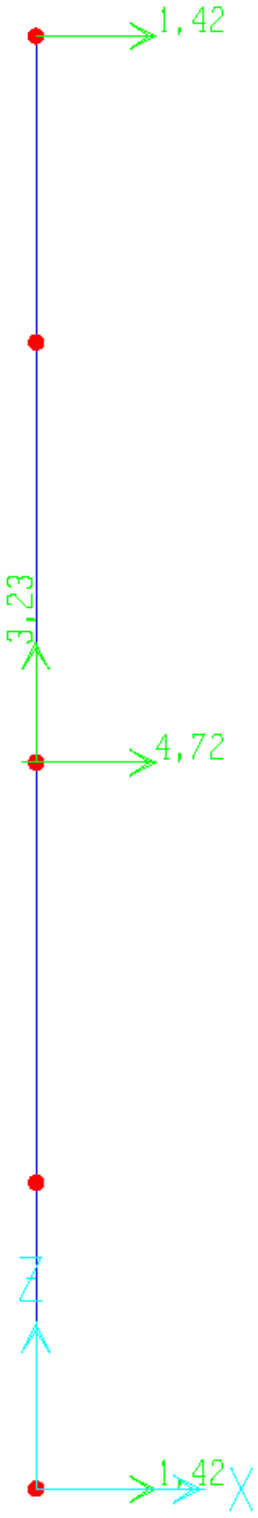
Deformada do perfil (mm):



$$y_{máx}\left(x = 0{,}4125l\right) \cong 9{,}6mm$$

5.3 DIMENSIONAMENTO DOS PARAFUSOS E ANCORAGENS

5.3.1 Reacções nos apoios obtidas no dimensionamento



(kN)

5.3.2 Dimensionamento dos parafusos ao corte

Utilizando parafusos em aço inox 304:

$$F_{v,Sd} \cong 3{,}5kN$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_M} = \frac{0{,}6 \times 620E^3 \times A_s}{1{,}25}$$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Sd} \Rightarrow \frac{0{,}6 \times 620E^3 \times A_s}{1{,}25} = 3{,}5 \Rightarrow A_s \geq 11{,}76{,}1mm^2$$

Utilizando parafusos M6:

$$A_s = \frac{\pi \times 0{,}006^2}{4} \times n \geq 11{,}76mm^2 \Rightarrow n \geq 0{,}42un$$

De qualquer forma serão utilizados **2 parafusos M6 em aço inox 304**.

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \times 620E^3 \times \left(\pi \times 0{,}006^2 / 4\right)}{1{,}25} \times 2 = 16{,}83kN$$

5.3.3 Dimensionamento dos parafusos à tracção

Utilizando parafusos em aço inox 304:

$$F_{t,Sd} \cong 4{,}75kN$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_M} = \frac{0{,}9 \times 620E^3 \times A_s}{1{,}25}$$

$$F_{t,Rd} = F_{t,Sd} \Rightarrow \frac{0{,}9 \times 620E^3 \times A_s}{1{,}25} = 4{,}75 \Rightarrow A_s \geq 10{,}64mm^2$$

Utilizando parafusos M6:

$$A_s = \frac{\pi \times 0{,}006^2}{4} \times n \geq 10{,}64mm^2 \Rightarrow n \geq 0{,}38un$$

De qualquer forma, serão utilizados os **2 parafusos em aço inox 304 M6**.

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 \times 620E^3 \times \left(\pi \times 0{,}006^2 / 4\right)}{1{,}25} \times 2 = 25{,}24kN$$

5.3.4 Verificação da interacção corte / tracção nos parafusos

$$\frac{F_{V,Sd}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{T,Sd}}{1{,}4 \times F_{T,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{3{,}5}{16{,}83} + \frac{4{,}75}{1{,}4 \times 25{,}24} \leq 1 \Rightarrow 0{,}34 \leq 1 \Rightarrow OK$$

5.3.5 Verificação do destacamento do betão por cone de rotura em tracção

$$B30 = C20/25 \Rightarrow f_{ck} = 25MPa$$

$$N^0_{R,dc} = \frac{9 \times f_{ck}^{0,5} \times h_{ef}^{0,5}}{\gamma_M} = \frac{9 \times 25E^3 \times h_{ef}^{1,5}}{2{,}16}$$

$$N^0_{R,dc} = F_{t,Sd} \Rightarrow \frac{9 \times \left(25E^3\right)^{0,5} \times h_{ef}^{1,5}}{2{,}16} = 4{,}75 \Rightarrow h_{ef} \cong 3{,}8cm$$

$$N^0_{R,dc} = F_{t,Rd} \Rightarrow \frac{9 \times \left(25E^3\right)^{0,5} \times h_{ef}^{1,5}}{2{,}16} = 25{,}24 \Rightarrow h_{ef} \cong 11{,}3cm$$

Será adoptada uma bucha mecânica M10 da classe 8.8 com $h_{ef} \cong 9{,}0cm$

5.3.6 Verificação do arrancamento e corte das buchas mecânicas para o betão

Segundo as tabelas de um fabricante de buchas mecânicas, o valor resistente de cálculo ao arrancamento e corte, em buchas metálicas com rosca interior, colocadas em betão do tipo C20/25, sem a influência de eventuais buchas vizinhas ou bordos de betão são:

Diâm. do furo d_0 (mm)	Comp. da bucha l (mm)	Profundidade do furo h_1 (mm)	Espessura a fixar t_{fix} (mm)	Comp. da rosca l_G (mm)	Carga de tracção recomendada KN	Carga de corte recomendada KN	Momento do aperto $T_{inst.}$ Nm
8	75	65	10	13	4,8	6,2	25
8	95	65	30	13	4,8	6,2	25
8	115	65	50	13	4,8	6,2	25
10	90	80	10	17	7,6	11,4	45
10	110	80	30	17	7,6	11,4	45
10	130	80	50	17	7,6	11,4	45
12	115	95	20	19	9,5	17,1	60
12	145	95	50	19	9,5	17,1	60
12	185	95	90	19	9,5	17,1	60
12	215	95	120	19	9,5	17,1	60
16	140	115	25	24	16,7	28,6	125
16	165	115	50	24	16,7	28,6	125
16	215	115	100	24	16,7	28,6	125
16	255	115	140	24	16,7	28,6	125
16	295	115	180	24	16,7	28,6	125
20	170	140	30	30	23,8	29,6	240
20	200	140	60	30	23,8	29,6	240
24	200	170	30	36	28,6	44,8	300
24	230	170	60	36	28,6	44,8	300



Como é possível verificar, para uma bucha mecânica M10, os valores da carga de tracção recomendada são de 7,6 kN e os de corte de 11,4 kN, valores estes que serão ensaiados “in situ” para comprovação, sendo registados em secção posterior.

$$F_{t,Sd} \cong 4{,}75kN \leq 7{,}6kN \Rightarrow OK$$

$$F_{v,Sd} \cong 3{,}5kN \leq 11{,}4kN \Rightarrow OK$$

5.3.7 Verificação do destacamento do betão por corte

Para dispensa da verificação ao corte, é necessário que a distância da bucha aos bordos dos elementos seja superior a 60 diâmetros. Assim sendo:

$$c \geq 60 \times d \Rightarrow c \geq 60 \times 1 \Rightarrow c \geq 60cm \Rightarrow KO$$

Esta medida é impossível, uma vez que as próprias vigas de apoio por vezes não ultrapassam os 55cm de altura, logo torna-se inviável.

Para situações que não enquadram na dispensa do cálculo ao corte, admite-se a seguinte situação:

$$V_{Rk,c}^{0} = \frac{0,5 \times \left(h_{ef} / d \right)^{0,2} \times f_{ck}^{0,5} \times c_1^{0,5}}{\gamma_M} = \frac{0,5 \times \left(0,09 / 0,01 \right)^{0,2} \times \left(25E^3 \right)^{0,5} \times c_1^{1,5}}{1,8}$$

$$F_{V,Sd} \leq V_{Rk,c}^{0} \Rightarrow 3,5 \leq \frac{0,5 \times \left(0,09 / 0,01 \right)^{0,2} \times \left(25E^3 \right)^{0,5} \times c_1^{1,5}}{1,8} \Rightarrow c_1 \geq 14cm$$

$$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd} \Rightarrow 11,4 \leq \frac{0,5 \times \left(0,09 / 0,01 \right)^{0,2} \times \left(25E^3 \right)^{0,5} \times c_1^{1,5}}{1,8} \Rightarrow c_1 \geq 30cm$$

(utilizando a resistência do perno recomendada ao corte)

Assim sendo, os pernos devem estar desviados dos bordos pelo menos **30cm**, para evitar o destacamento do betão por corte.

5.4 VERIFICAÇÃO DAS PLACAS DE REVESTIMENTO À FLEXÃO E CORTE

5.4.1 Características da secção e do material da placa de revestimento

$$l_{placa} = 1{,}20m$$

$$b_{placa} = 0{,}60m$$

$$e_{placa} = 0{,}012m$$

$$e_{efplaca} = 0{,}0063m$$

$$l_{ef\,\mathrm{sup}orte} = 0{,}0265m$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{0{,}6 \times 0{,}012^3}{12} = 8{,}64E^{-8}m^4$$

$$y = \frac{h}{2} = \frac{0{,}012}{2} = 0{,}006m$$

$$\omega = \frac{I}{y} = \frac{8{,}64E^{-8}}{0{,}006} = 14{,}40E^{-6}m^3$$

$$\sigma_{f,Rd} = 50MPa$$

$$\sigma_{V,Rd} = 50 \big/ \sqrt{4} \cong 25MPa$$

5.4.2 Verificação da placa de revestimento à flexão

$$\sigma_{f,Rd} = \frac{M_{Rd}}{\omega} = 50MPa \Rightarrow 50E^3 = \frac{M_{Rd}}{14{,}40E^{-6}} \Rightarrow M_{Rd} = 0{,}72kN.m$$

Admitindo uma carga uniformemente distribuída:

$$M_{Sd} = \frac{P_{Sd} \times l^2}{8} \Rightarrow \frac{P_{Sd} \times 1{,}2^2}{8} \leq 0{,}72kN.m \Rightarrow P_{Sd} \leq 4kN/m \Rightarrow P_{Sd} \leq 6{,}67kN/m^2$$

$$f_{inst} = \frac{5 \times p \times l^4}{384 \times EI} = \frac{5 \times 4 \times 1{,}2^4}{384 \times 20E^6 \times 8{,}64E^{-8}} \cong 6{,}25cm$$

Logo a placa resiste em flexão a uma pressão do vento extrema de **6,6 KPa** aproximadamente de **680 kg/m2**, sofrendo uma flecha instantânea de **6,25cm**.

Admitindo uma carga concentrada a meio vão:

$$M_{Sd} = \frac{P_{Sd} \times l}{4} \Rightarrow \frac{P_{Sd} \times 1{,}2}{4} \leq 0{,}72kN.m \Rightarrow P_{Sd} \leq 2{,}4kN \Rightarrow P_{Sd} \leq 4{,}0kN/m$$

$$f_{inst} = \frac{p \times l^3}{48 \times EI} = \frac{2{,}4 \times 1{,}2^3}{48 \times 20E^6 \times 8{,}64E^{-8}} \cong 5{,}0cm$$

Logo a placa resiste em flexão a uma carga concentrada a meio vão de **2,4 kN,** aproximadamente **245 kg**, sofrendo uma flecha instantânea de aproximadamente **5cm**.

5.4.3 Verificação da placa de revestimento ao corte

Uma vez que a placa vai estar apoiada nos quatro cantos por uns suportes em aço inox embutidos na borda da peça, serão estes quatro apoios os responsáveis pela transferência do esforço de corte da placa para o perfil e destes para as cantoneiras, parafusos e buchas. Assim sendo:

Admitindo uma carga uniformemente distribuída:

$$F_{Rd} = \sigma_{V,Rd} \times l_{ef\,\mathrm{sup}orte} \times e_{efplaca} = 25E^3 \times 0{,}0265 \times 0{,}0063 = 4{,}17kN/\mathrm{sup}orte$$

$$F_{Sd} \leq F_{Rd} \Rightarrow \frac{P_{Sd} \times l_{placa} \times b_{placa}}{4} \leq 4{,}17 \Rightarrow \frac{P_{Sd} \times 1{,}2 \times 0{,}6}{4} \leq 4{,}17 \Rightarrow P_{Sd} \leq 23{,}17kN/m^2$$

Logo a placa apoiada em quatro suportes resiste **a 4,17kN** em esforço de corte por suporte, podendo absorver uma carga máxima de **23,17kN/m2**.

Admitindo uma carga concentrada a meio vão:

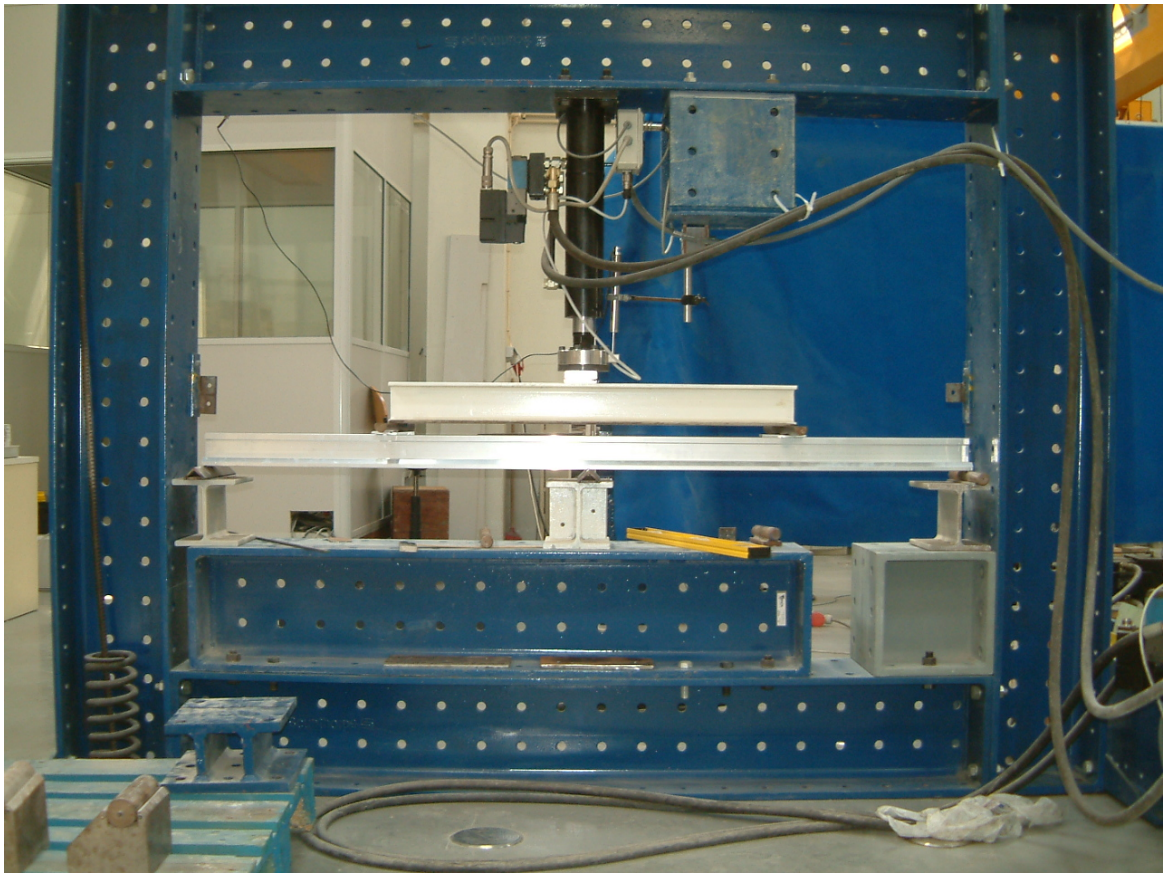
$$F_{Rd} = \sigma_{V,Rd} \times l_{ef\,\mathrm{sup}orte} \times e_{efplaca} = 25 \times 10^3 \times 0{,}0265 \times 0{,}0063 = 4{,}17kN/\mathrm{sup}orte$$

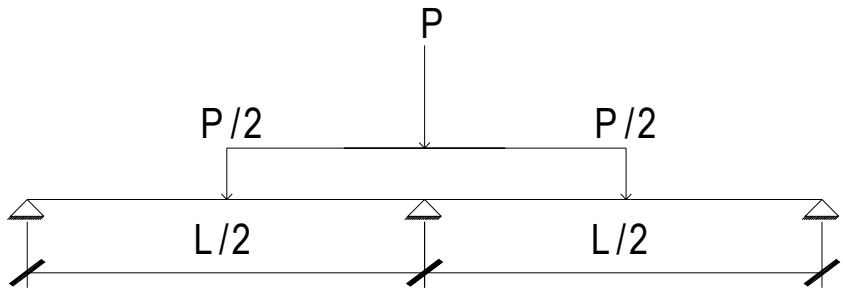
$$F_{Sd} \leq F_{Rd} \Rightarrow \frac{P_{Sd}}{4} \leq 4{,}17 \Rightarrow \frac{P_{Sd}}{4} \leq 4{,}17 \Rightarrow P_{Sd} \leq 16{,}7kN \cong 27{,}8kN/m$$

Logo a placa apoiada em quatro suportes resiste **a 4,81kN** em esforço de corte por suporte, podendo absorver uma carga máxima de **16,7kN** ou **27,8kN/m**. Todas estas cargas de corte obtidas, são superiores às cargas obtidas para a flexão, logo o que condiciona são as cargas obtidas em flexão.

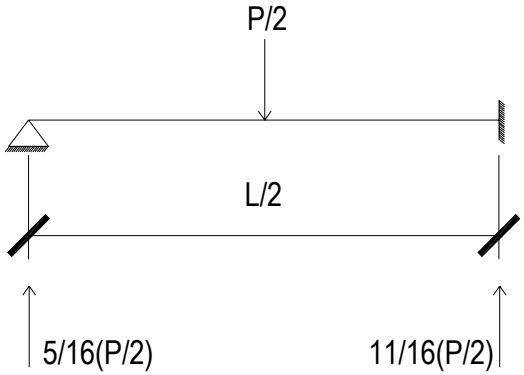
5.5 ENSAIOS À FLEXÃO DO PERFIL DIMENSIONADO EM LABORATÓRIO

5.5.1 Esquema estrutural adoptado





Simplificando:



Fazendo L/2 = l e P/2=p:

$$V(máx) = {}^{11}\!/_{16} \times p$$

$$M_1(x) = {}^{5}\!/_{16} \times p \times x \quad ; \qquad M(máx) = {}^{5}\!/_{16} \times p \times \frac{l}{2}$$

$$M_2(x) = {}^{5}\!/_{16} \times p \times {}^{l}\!/_{2} - {}^{11}\!/_{16} \times p \times x \; ; \qquad M(máx) = -{}^{3}\!/_{8} \times p \times \frac{l}{2}$$

5.5.2 Cargas de ensaio esperadas

Uma vez que o que condicionou o dimensionamento foi a verificação da resistência ao bambeamento, as cargas de ensaio esperadas serão calculadas da mesma forma.

Os perfis foram todos ensaiados com um comprimento máximo de 1,90m. Assim sendo:

Fazendo ${}^{L}\!/_{2} = l$:

$$\lambda_{LT} = {}^{l}\!/_{i_z} \Rightarrow \lambda_{LT} = {}^{0,95}\!/_{0,02064} = 46$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_a}{E}} \Rightarrow \overline{\lambda}_{LT} = 46 \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{120E^3}{70E^6}} \Rightarrow \overline{\lambda}_{LT} = 0,606$$

$$\alpha_{LT} = 0,2 \text{ e } \overline{\lambda}_{0,LT} = 0,4$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \times \left[1 + \alpha_{LT} \times \left(\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{0,LT}\right) + \overline{\lambda}_{LT}^2\right] = 0,704$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = 0,941$$

$$M_{Sd} \le M_{b,Rd} = {}^{\chi_{LT} \times f_t \times \alpha \times W_{el,y}}\!/_{\gamma_{M1}}$$

Substituindo:

$$ {}^{5}\!/_{16} \times p \times \frac{1,9}{4} \le 0,941 \times 120E^3 \times \frac{{}^{4,17E-7}\!/_{0,05}}{1,0} \Rightarrow p \le 6,1kN \Rightarrow P \cong 12,2kN$$ -

Para a secção a meio vão (⊥)

$$ {}^{3}\!/_{8} \times p \times \frac{1,9}{4} \le 0,941 \times 120E^3 \times \frac{{}^{4,17E-7}\!/_{0,05}}{1,0} \Rightarrow p \le 5,1kN \Rightarrow P \cong 10,2N$$ - Para a secção no apoio central (T)

5.5.3 Deformações de ensaio esperadas

Através da equação da elástica e fazendo L/2 = l e P/2=p:

$$y_1''(x) = -\frac{M_1(x)}{EI} = -\frac{5/16 \times p \times x}{EI}$$

$$y_1'(x) = -\frac{5/16 \times p \times x^2/2}{EI} + A$$

$$y_2''(x) = -\frac{M_2(x)}{EI} = -\frac{5/16 \times p \times l/2 + 11/16 \times p \times x}{EI}$$

$$y_2'(x) = -\frac{5/16 \times p \times l/2 \times x + 11/16 \times p \times x^2/2}{EI} + B$$

$$y_2'(x = l/2) = 0 \Rightarrow B = \frac{-p \times l^2}{128 \times EI}$$

$$y_2'(x) = -\frac{5/16 \times p \times l/2 \times x + 11/16 \times p \times x^2/2}{EI} - \frac{p \times l^2}{128 \times EI}$$

$$y_1'(x = l/2) = y_2'(x = 0) \Rightarrow \frac{-5/16 \times p \times \frac{(l/2)^2}{2}}{EI} + A = \frac{.p \times l^2}{128 \times EI} \Rightarrow A = \frac{p \times l^2}{32 \times EI}$$

$$y_1'(x) = -\frac{5/16 \times p \times x^2/2}{EI} + \frac{p \times l^2}{32 \times EI}$$

$$y_1(x) = -\frac{5 \times p \times x^3}{96 \times EI} + \frac{p \times l^2 \times x}{32 \times EI} + C$$

$$y_1(x = 0) = 0 \Rightarrow C = 0$$

$$y_1(x) = -\frac{5 \times p \times x^3}{96 \times EI} + \frac{p \times l^2 \times x}{32 \times EI}$$

$$y_1(x = l/2) = \frac{7 \times p \times l^3}{768 \times EI}$$

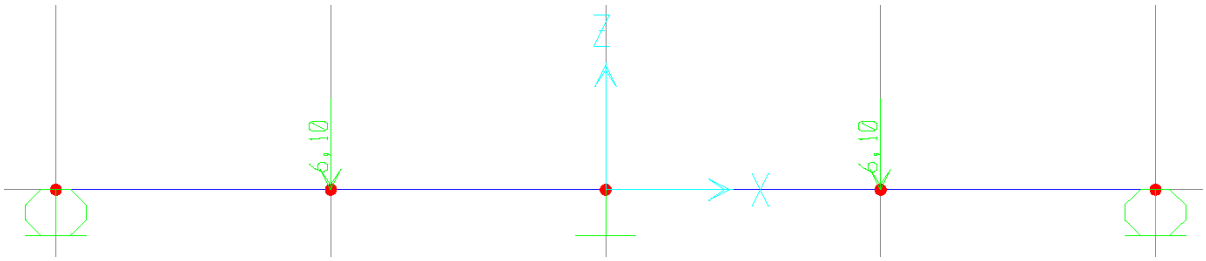
Substituindo:

$$y_1(x = l/2) = \frac{7 \times p \times l^3}{768 \times EI} = \frac{7 \times P/2 \times (L/2)^3}{768 \times EI} = \frac{7 \times 12{,}2/2 \times (1{,}9/2)^3}{768 \times 70E6 \times 4{,}17E^{-7}} \cong 1{,}7mm\ (\perp)$$

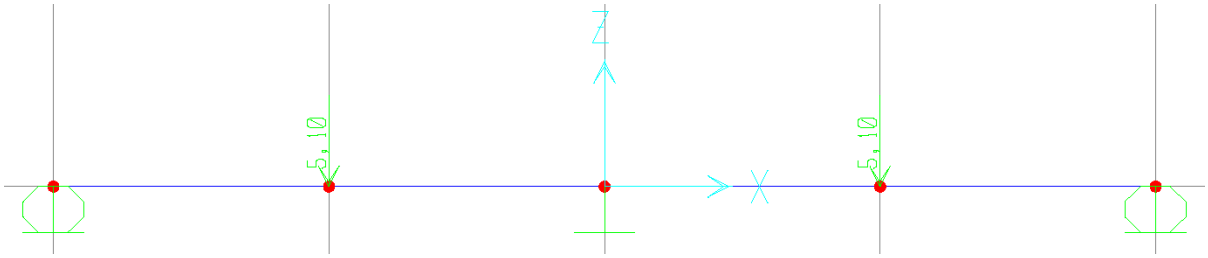
$$y_1(x = l/2) = \frac{7 \times p \times l^3}{768 \times EI} = \frac{7 \times P/2 \times (L/2)^3}{768 \times EI} = \frac{7 \times 10{,}2/2 \times (1{,}9/2)^3}{768 \times 70E6 \times 4{,}17E^{-7}} \cong 1{,}4mm\ (\mathrm{T})$$

5.5.4 Diagramas de carregamento (kN)

(⊥)

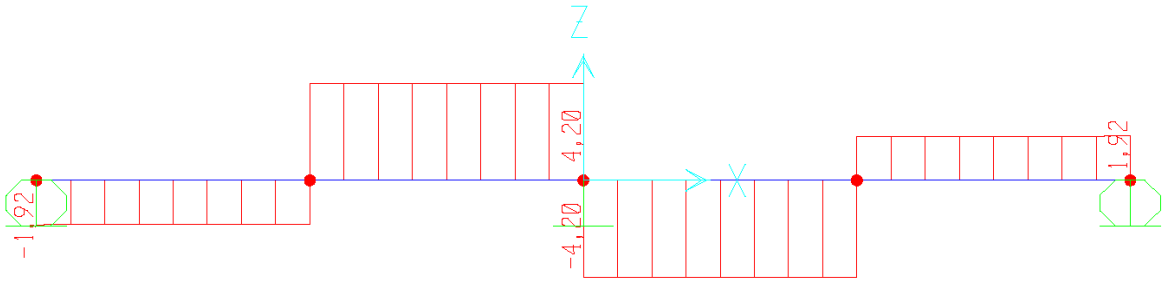


(T)

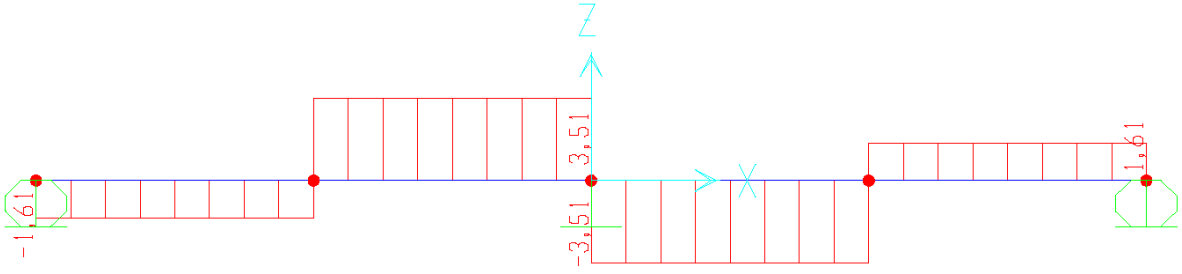


5.5.5 Diagramas de esforço de corte (kN)

(⊥)

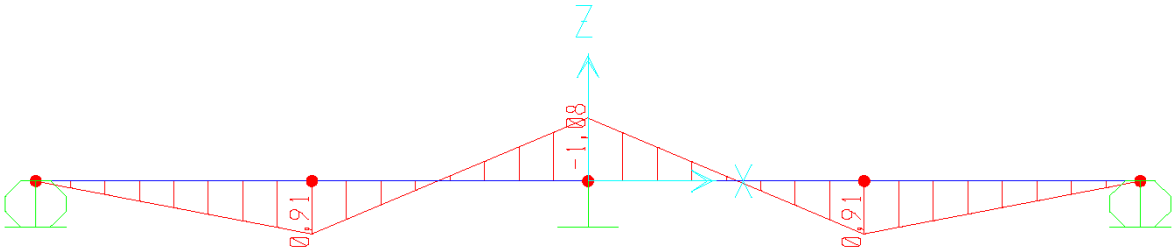


(T)

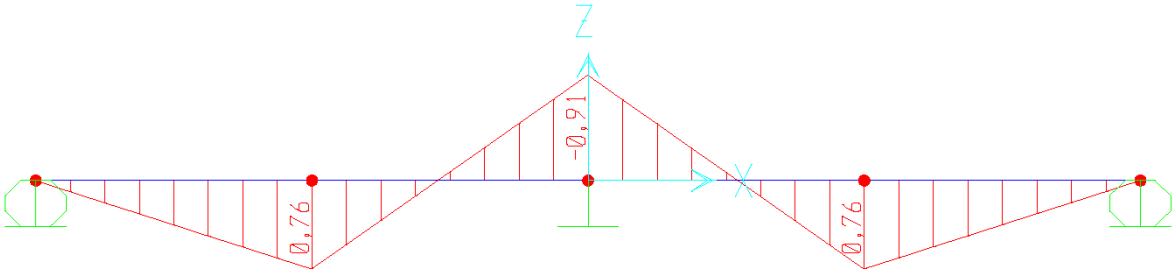


5.5.6 Diagramas de Momentos flectores (kN.m)

(⊥)

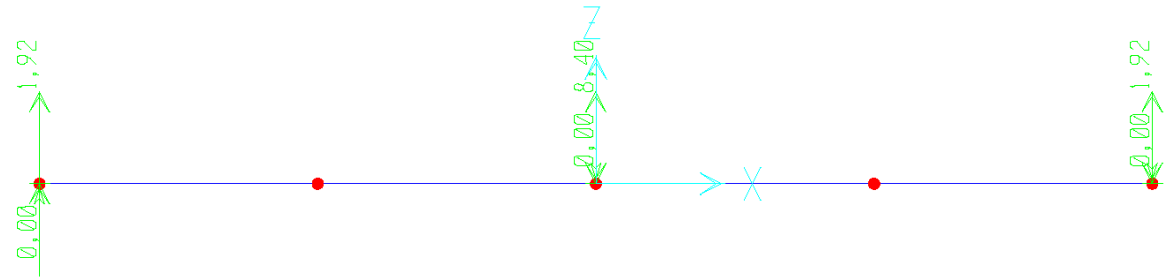


(T)

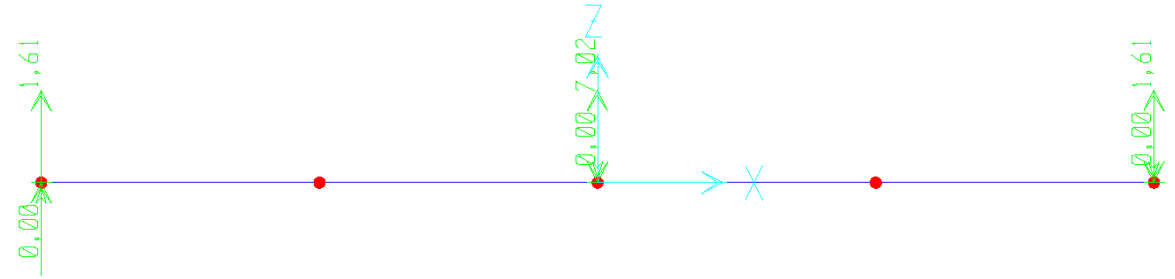


5.5.7 Reacções nos apoios (kN)

(⊥)

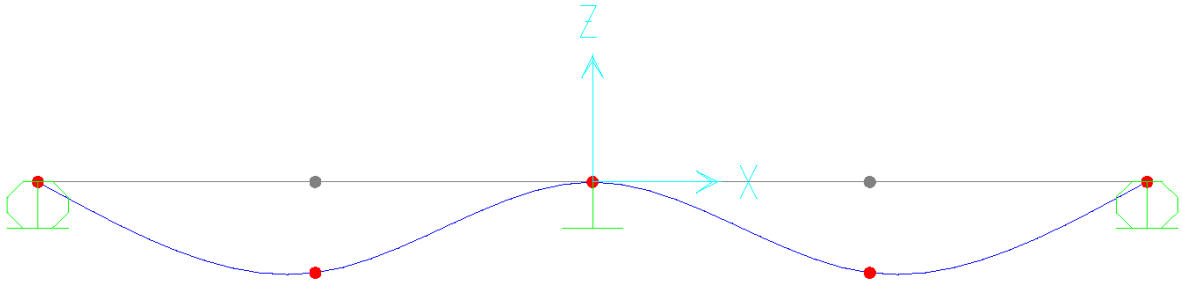


(T)



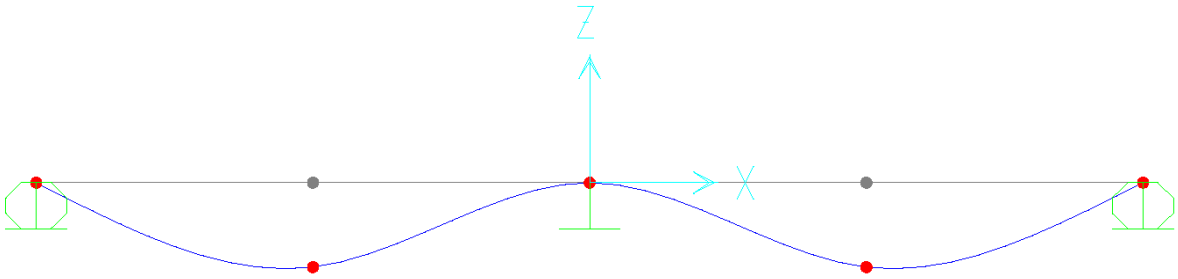
5.5.8 Deformadas do perfil (mm)

(⊥)



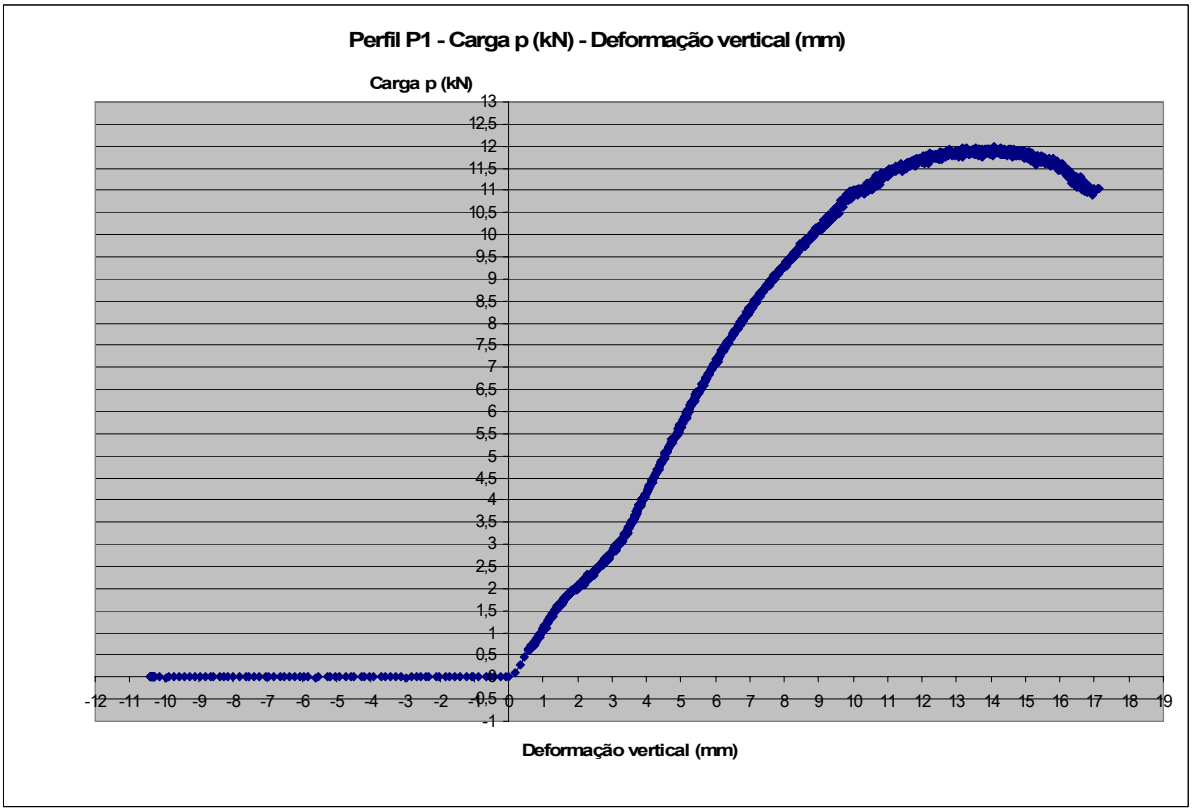
$y_1 \left(x = l/2\right) \cong 1{,}7mm$

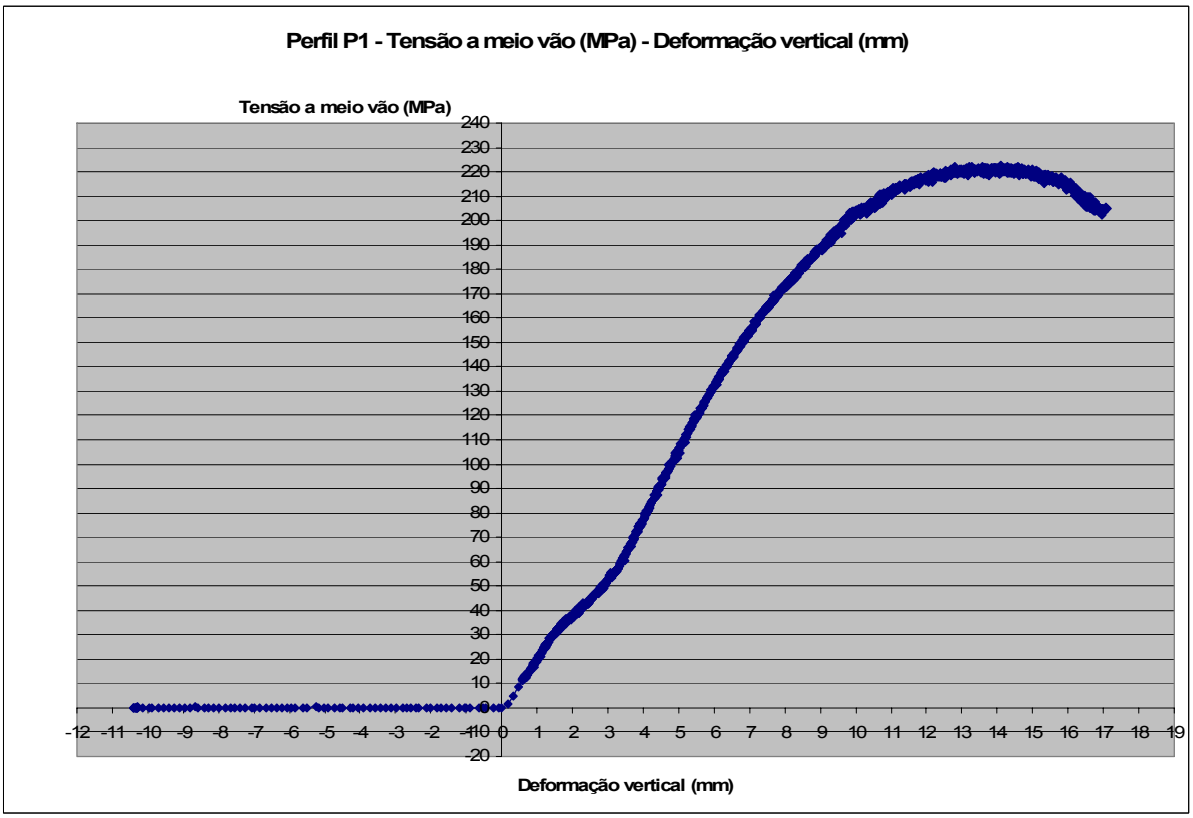
(T)

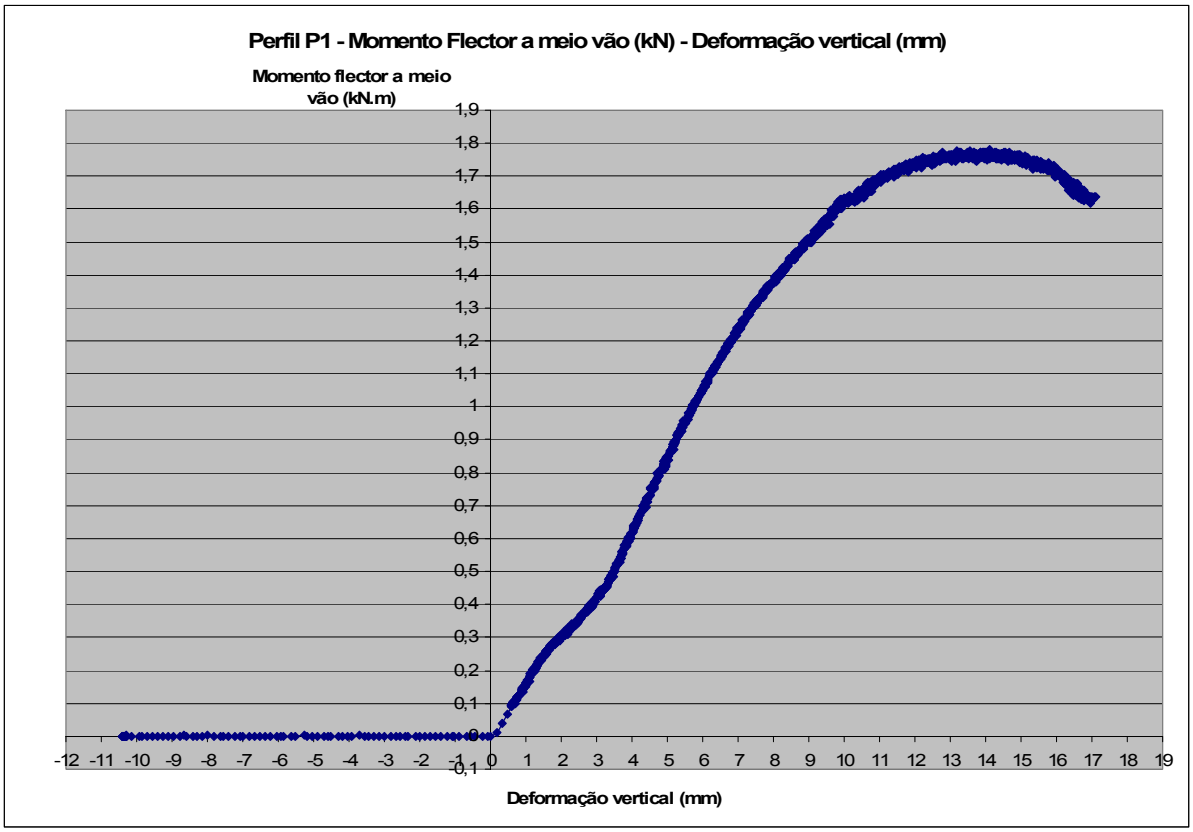


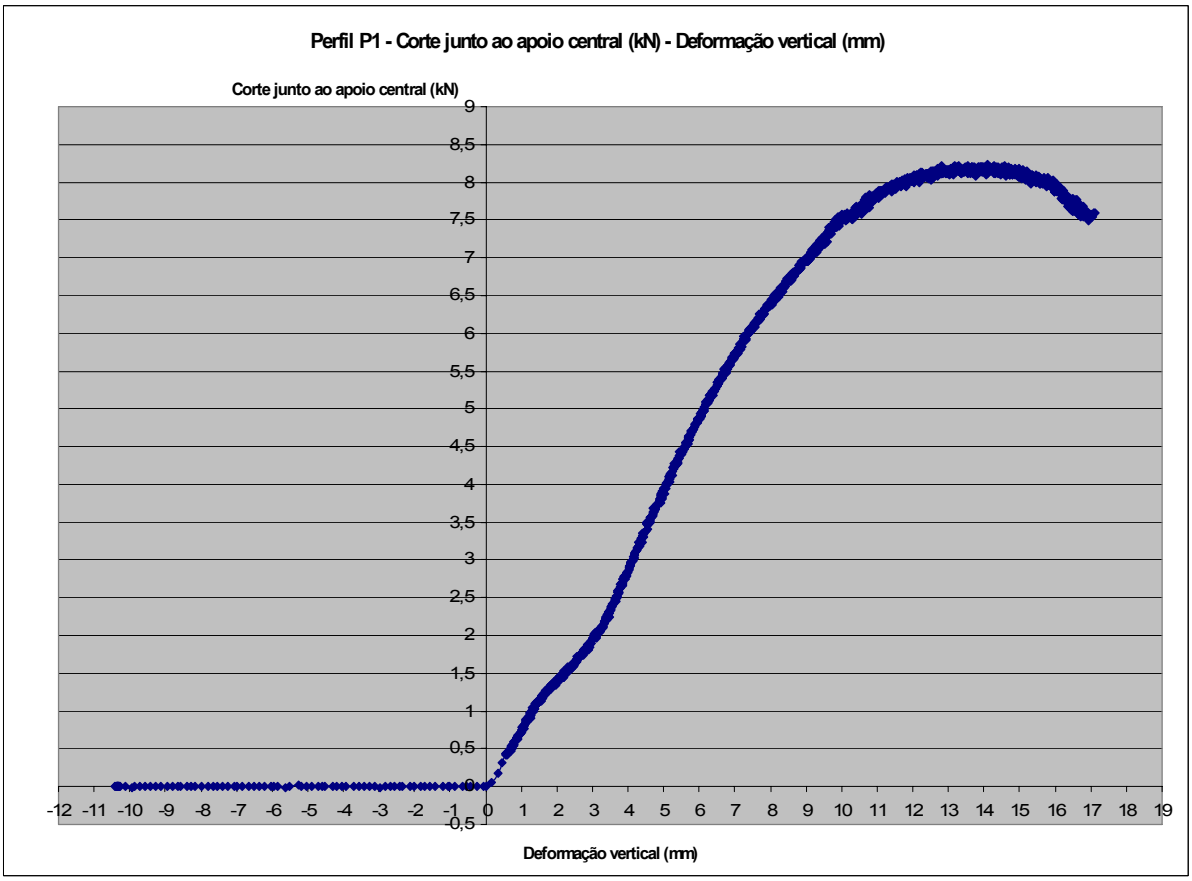
$y_1 \left(x = l/2\right) \cong 1{,}4mm$

5.5.9 Resultados obtidos no ensaio do perfil P1

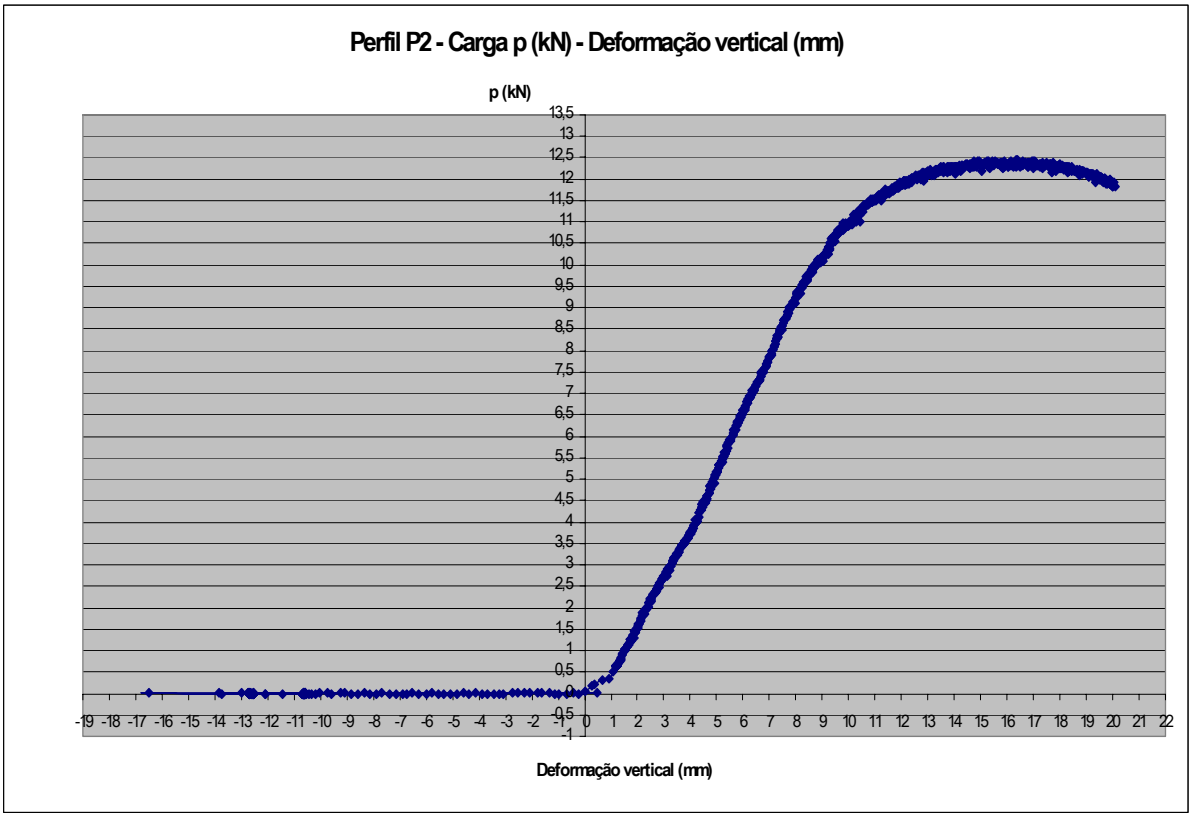


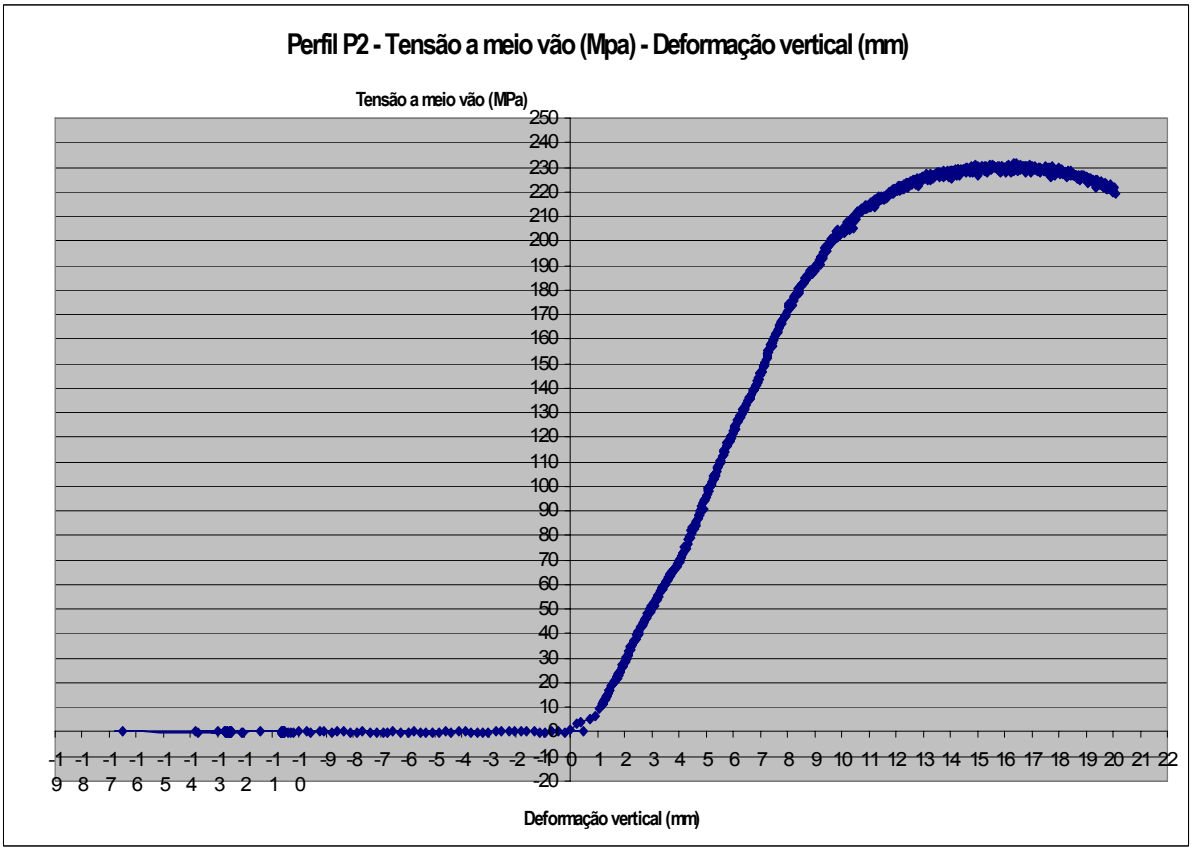


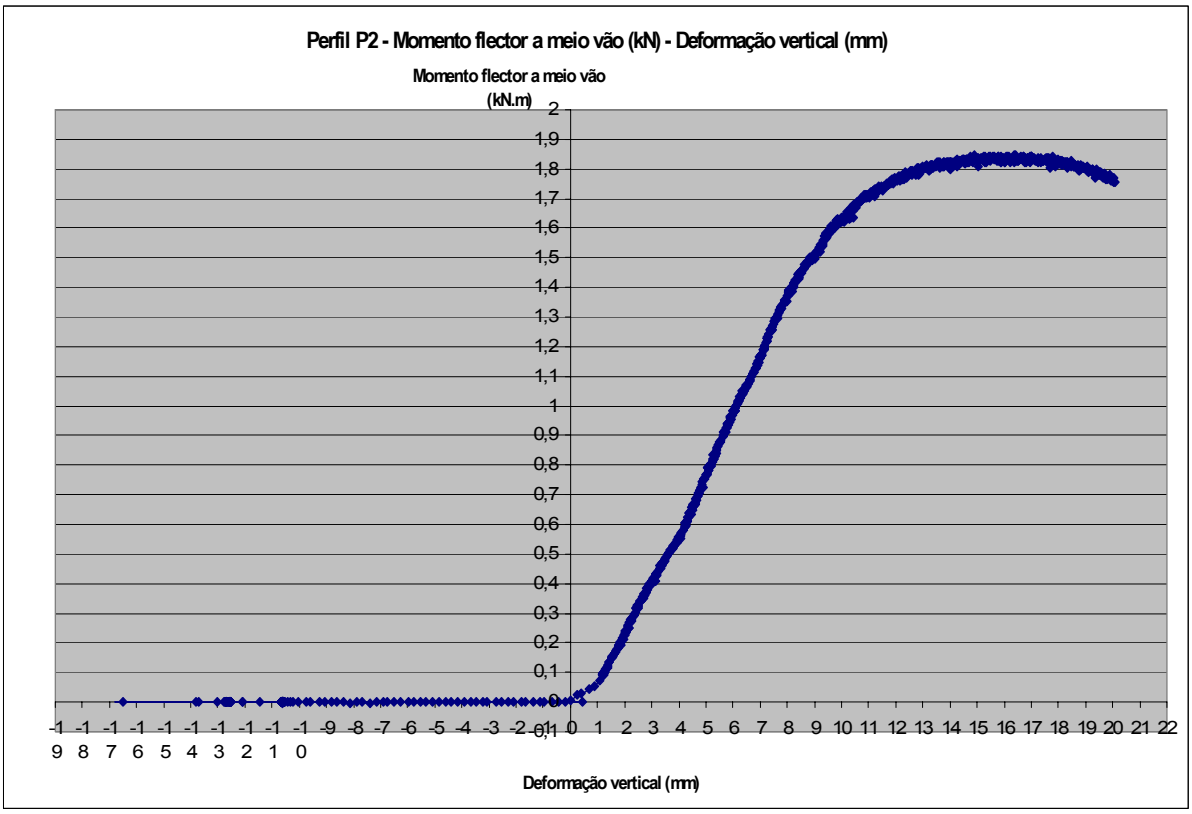

Perfil P1 - Momento Flector a meio vão (kN) - Deformação vertical (mm)
Momento flector a meio vão (kN.m)
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1
-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
Deformação vertical (mm)

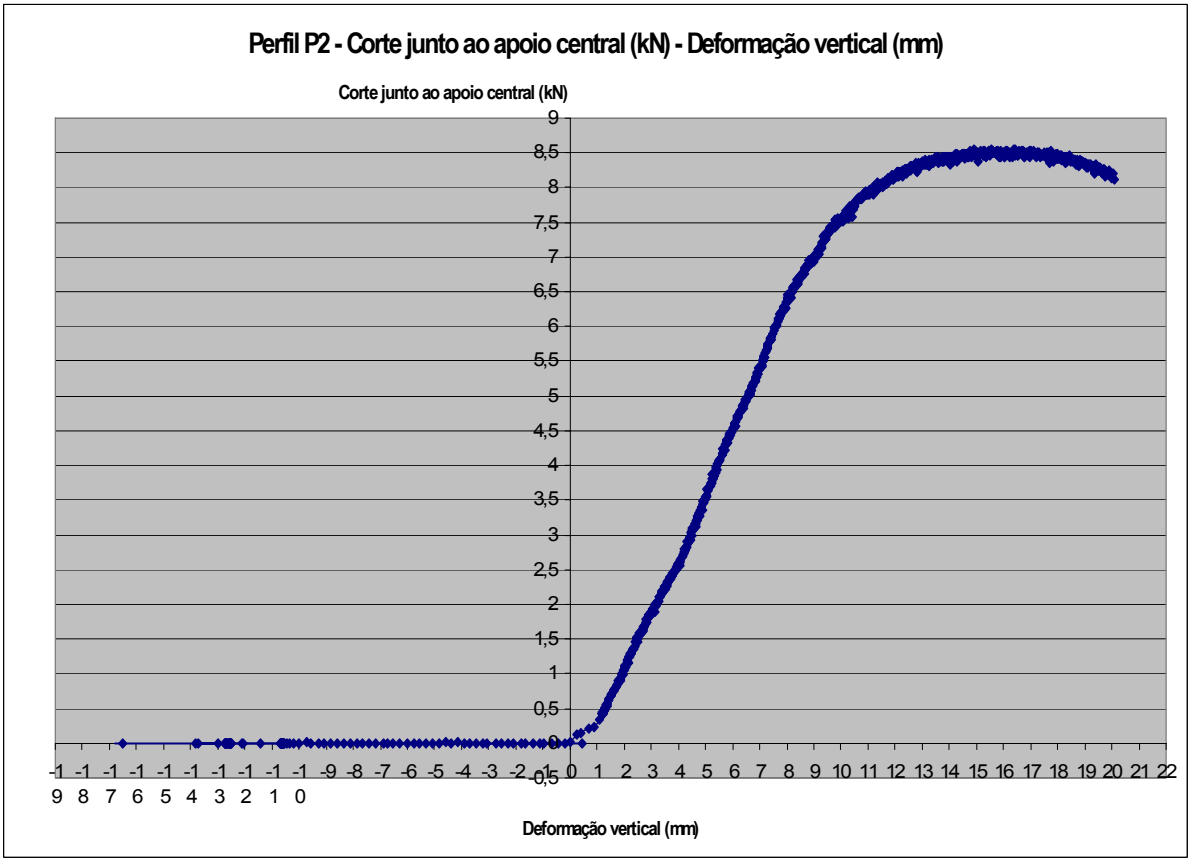

Perfil P1 - Corte junto ao apoio central (kN) - Deformação vertical (mm)
Corte junto ao apoio central (kN)
9
8,5
8
7,5
7
6,5
6
5,5
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-12 -11 -10 -9 -8 -7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
Deformação vertical (mm)

5.5.10 Resultados obtidos no ensaio do perfil P2

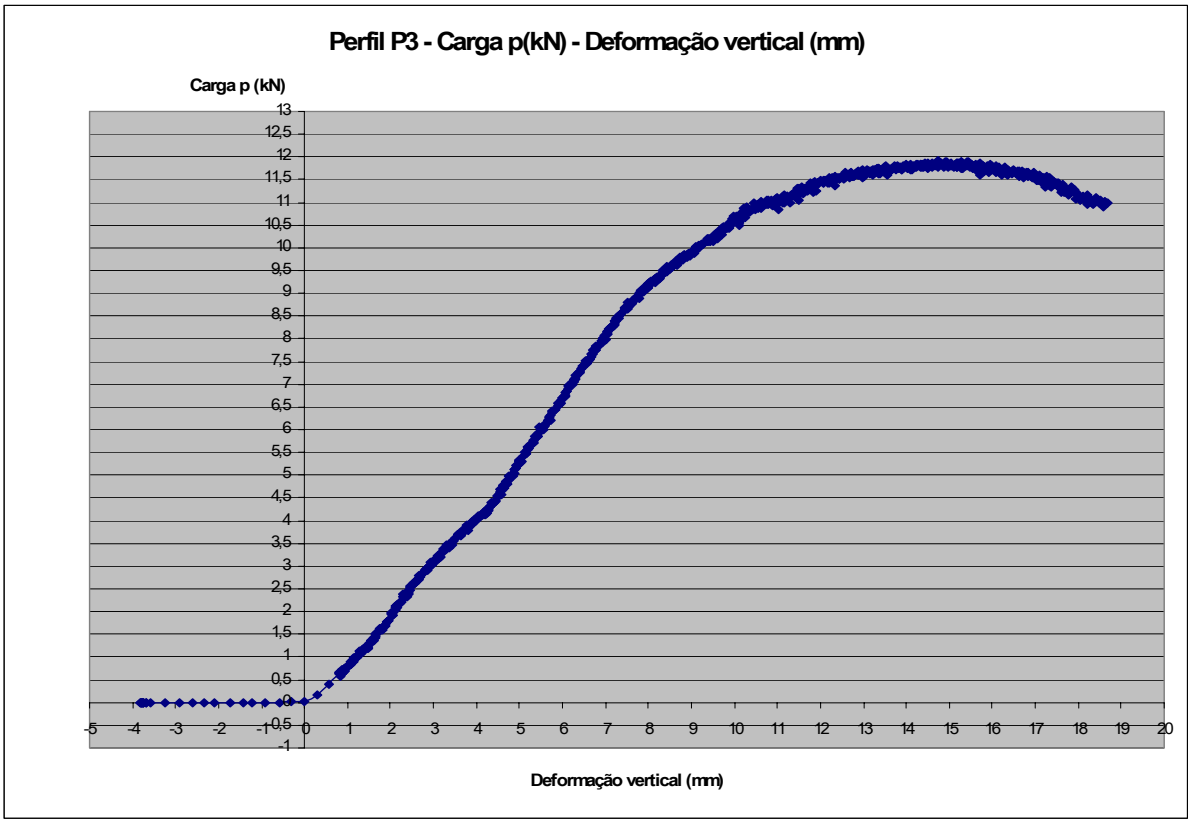


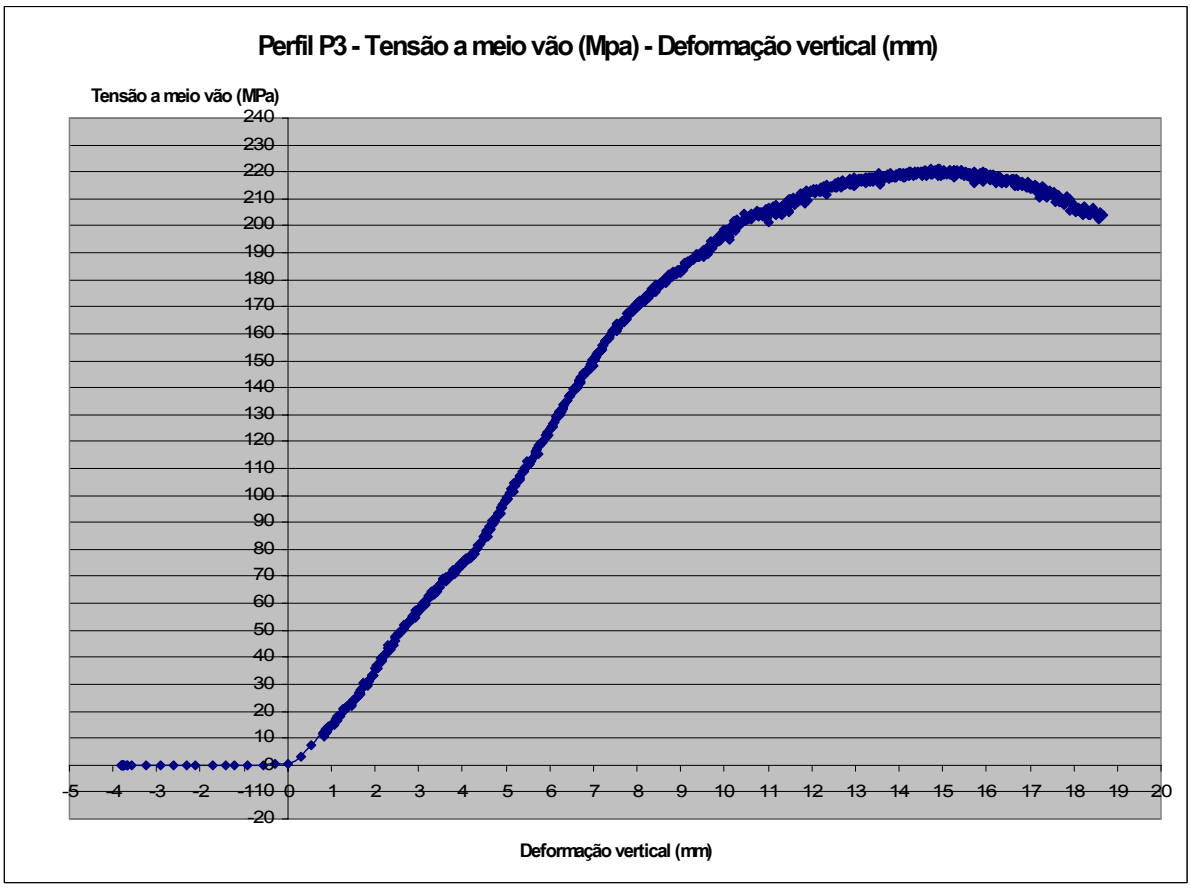


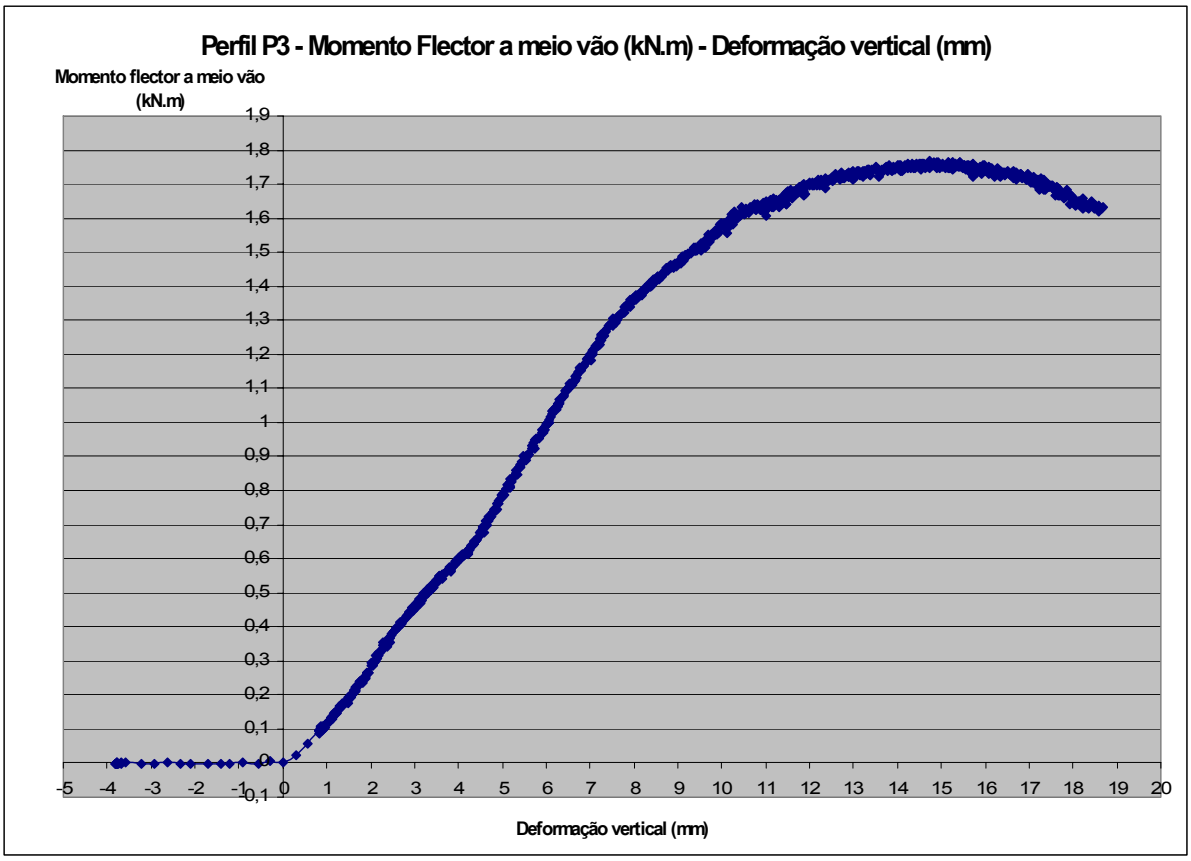

Perfil P2 - Momento flector a meio vão (kN) - Deformação vertical (mm)
Momento flector a meio vão (kN.m)
Deformação vertical (mm)

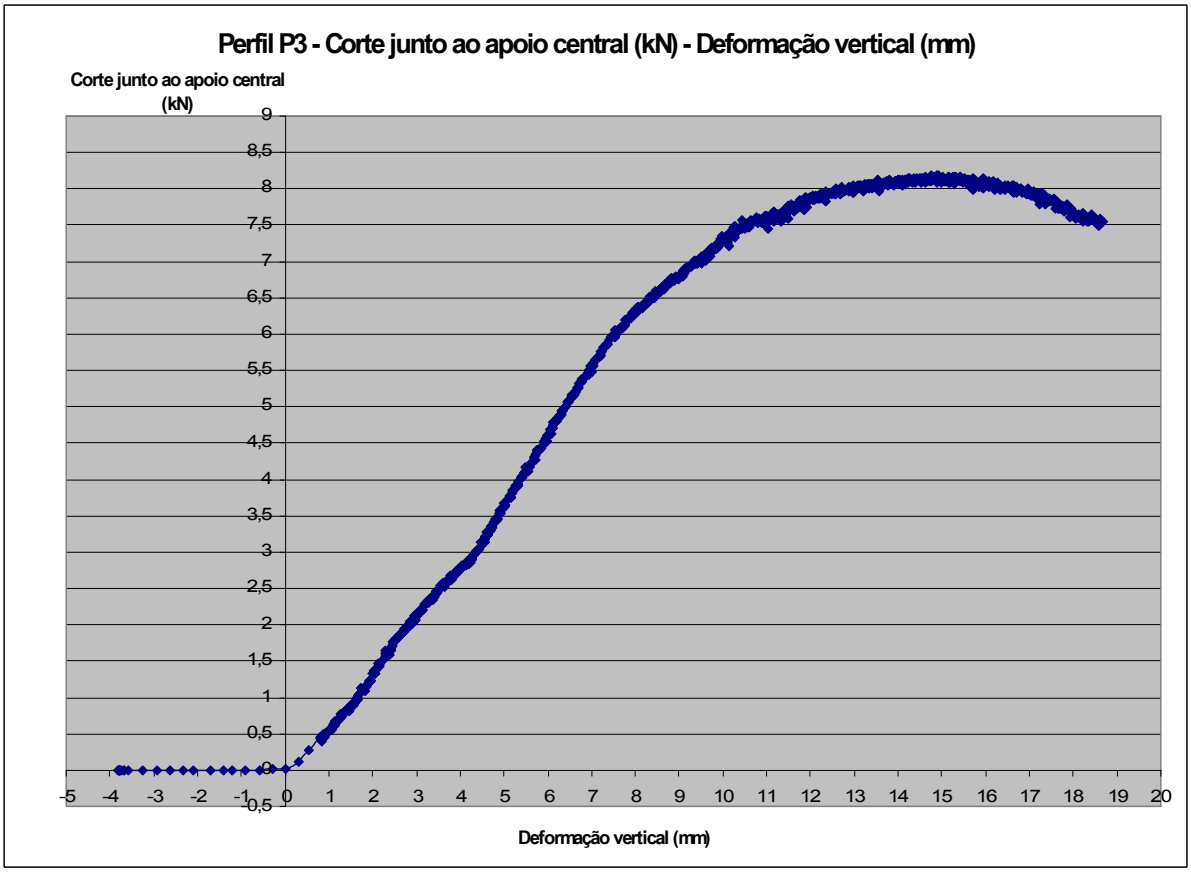

Perfil P2 - Corte junto ao apoio central (kN) - Deformação vertical (mm)
Corte junto ao apoio central (kN)
Deformação vertical (mm)

5.5.11 Resultados obtidos no ensaio do perfil P3

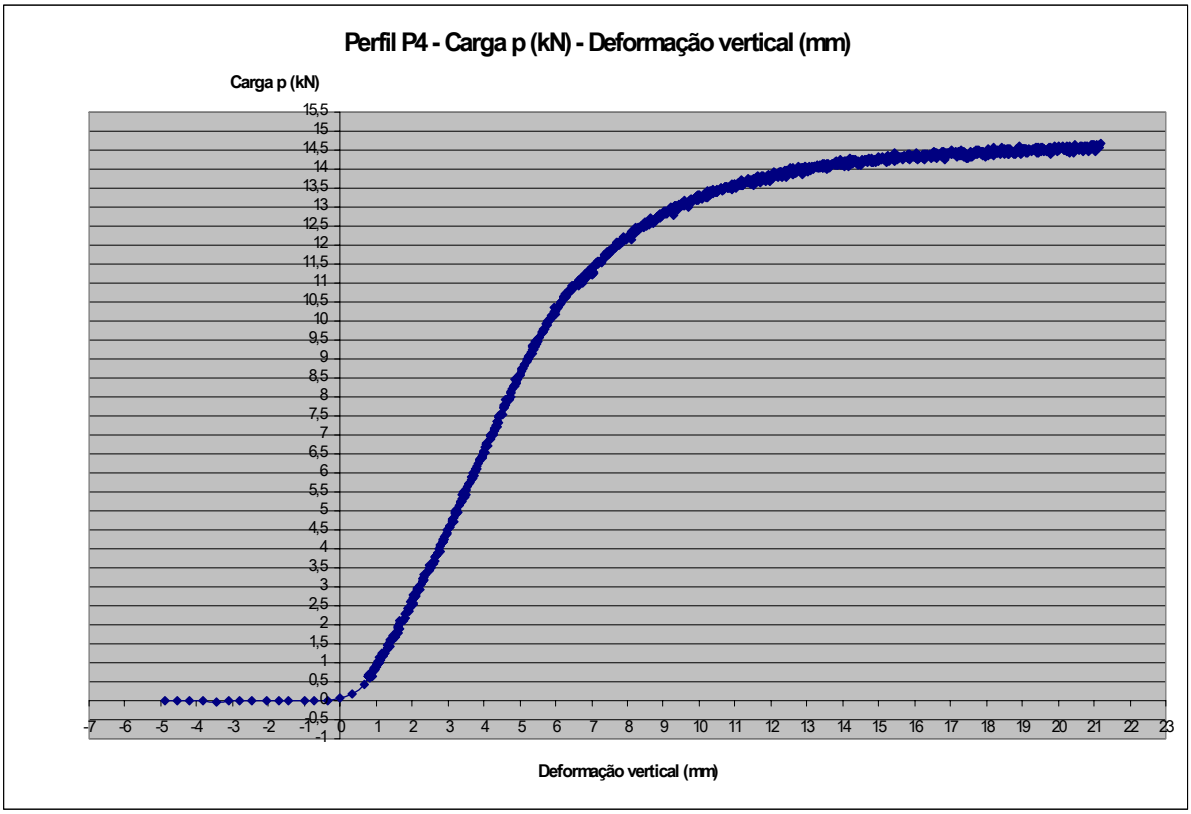


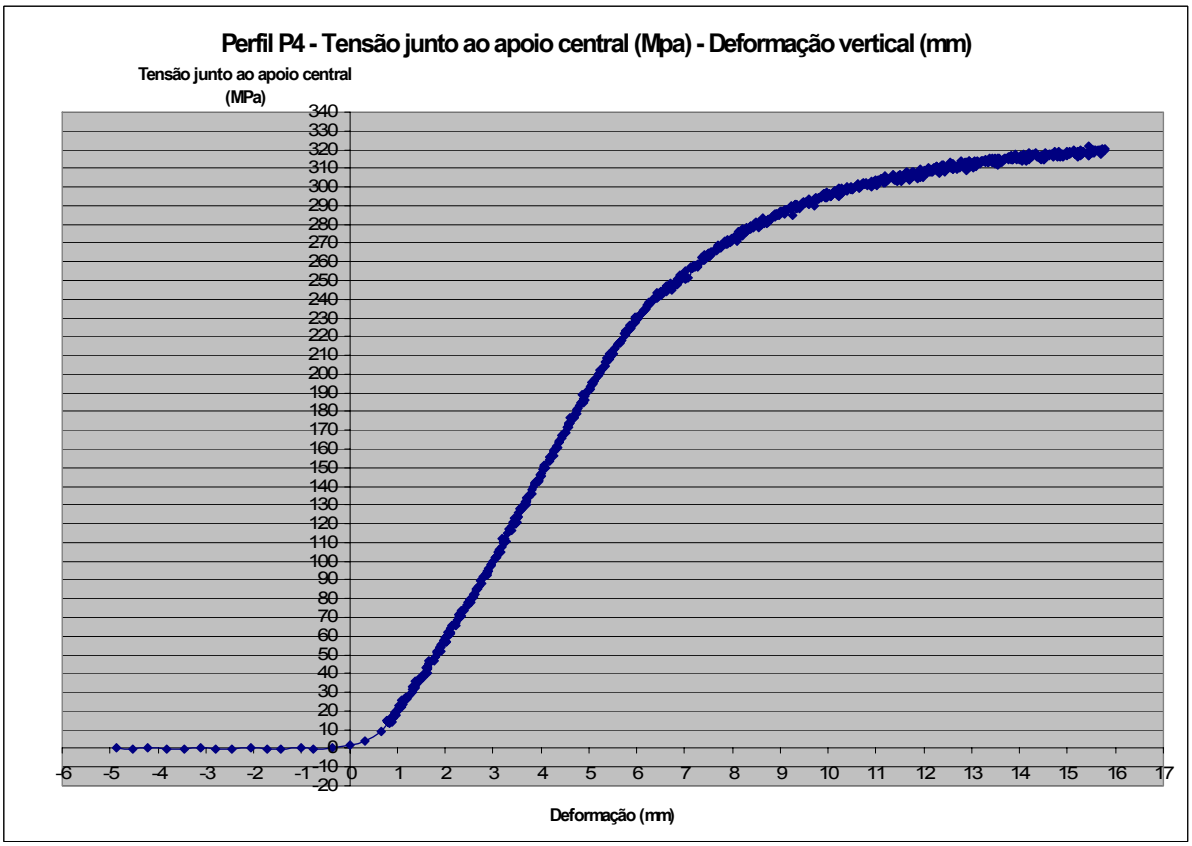


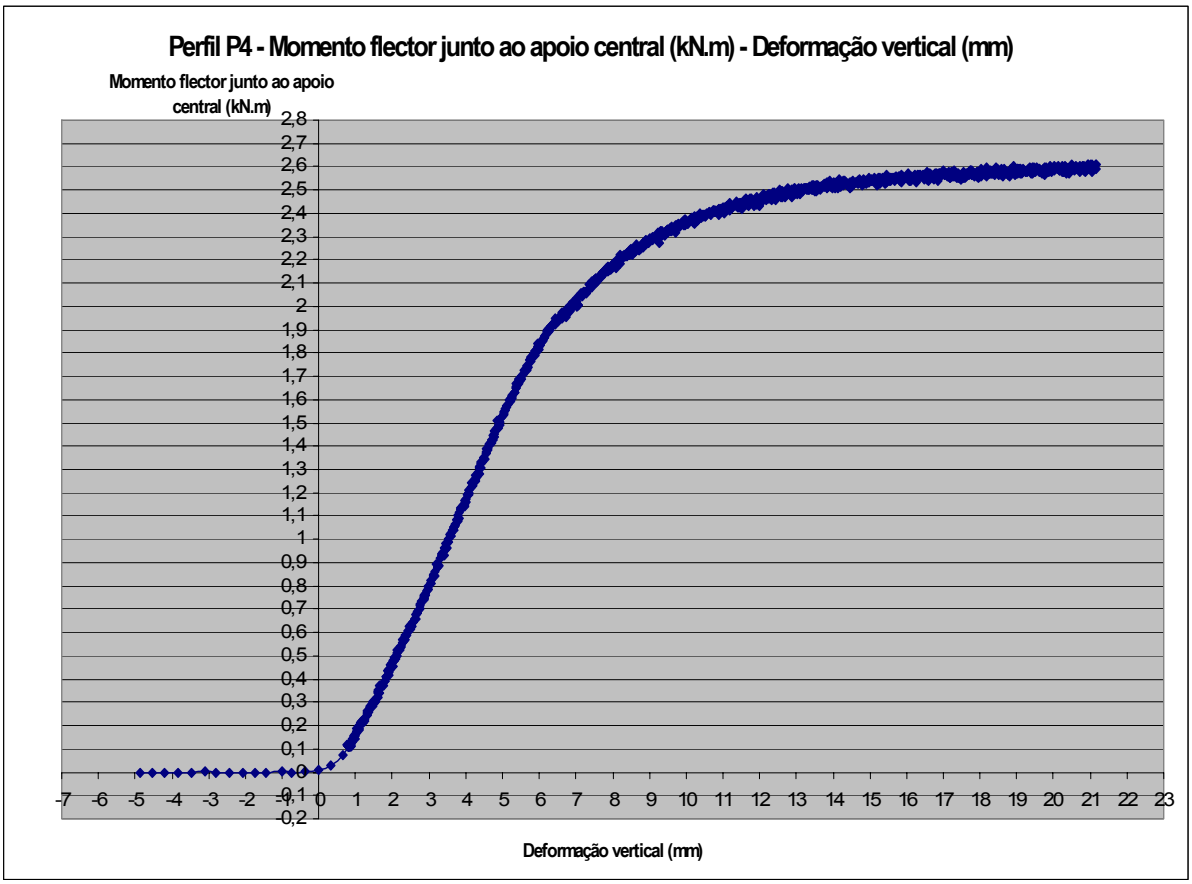

Perfil P3 - Momento Flector a meio vão (kN.m) - Deformação vertical (mm)
Momento flector a meio vão (kN.m)
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Deformação vertical (mm)

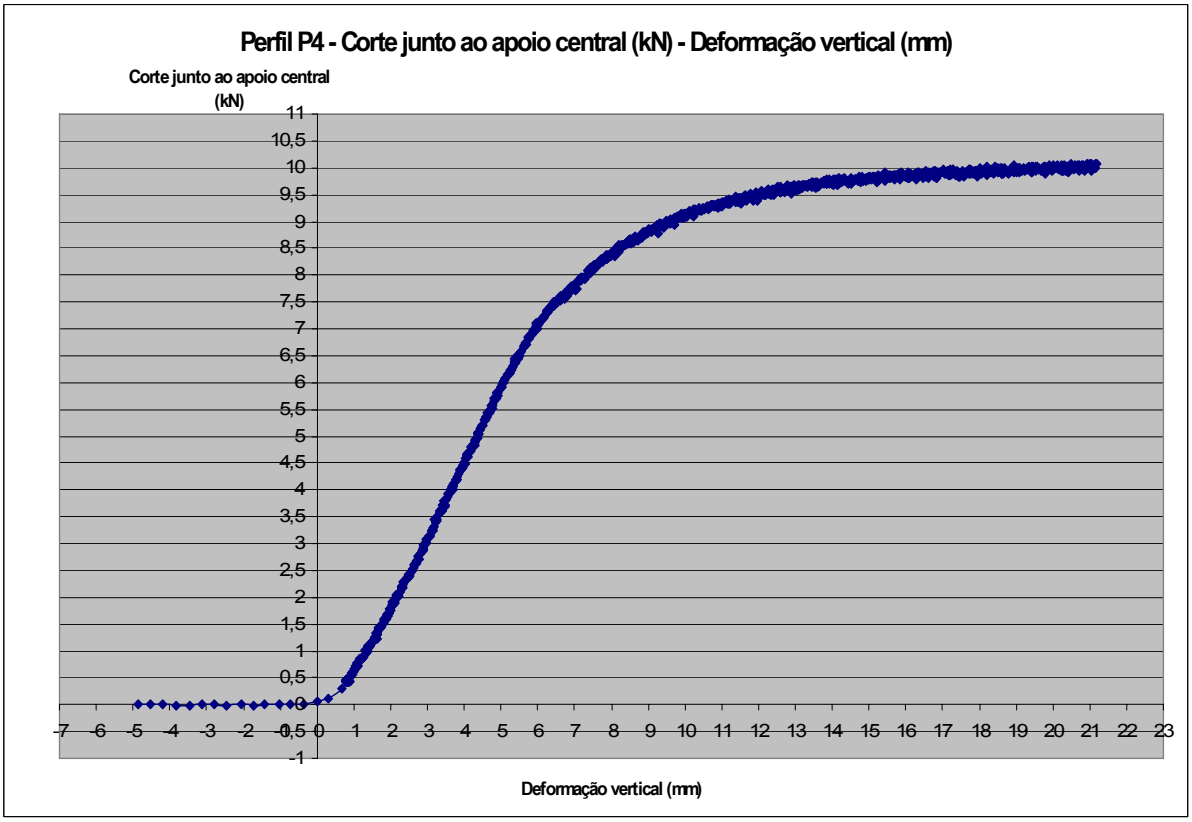

Perfil P3 - Corte junto ao apoio central (kN) - Deformação vertical (mm)
Corte junto ao apoio central (kN)
9
8,5
8
7,5
7
6,5
6
5,5
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
Deformação vertical (mm)

5.5.12 Resultados obtidos no ensaio do perfil P4

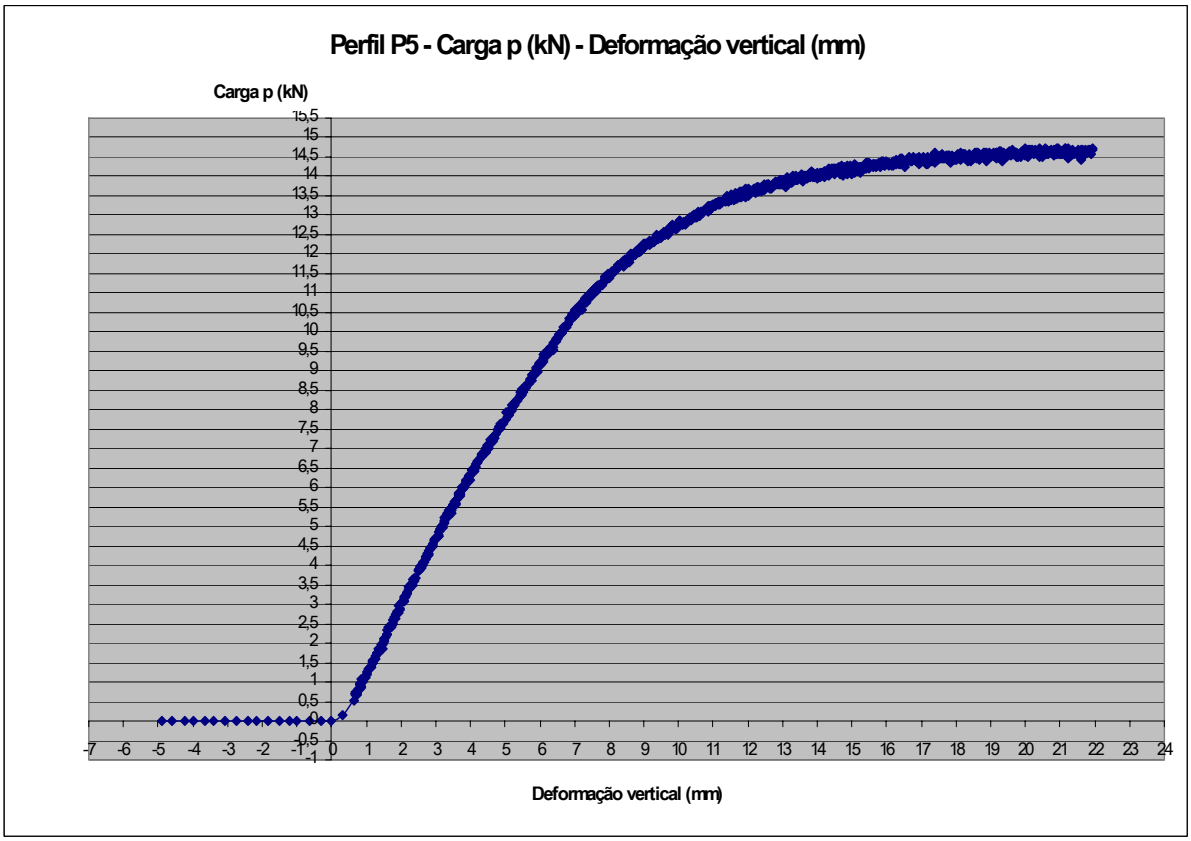


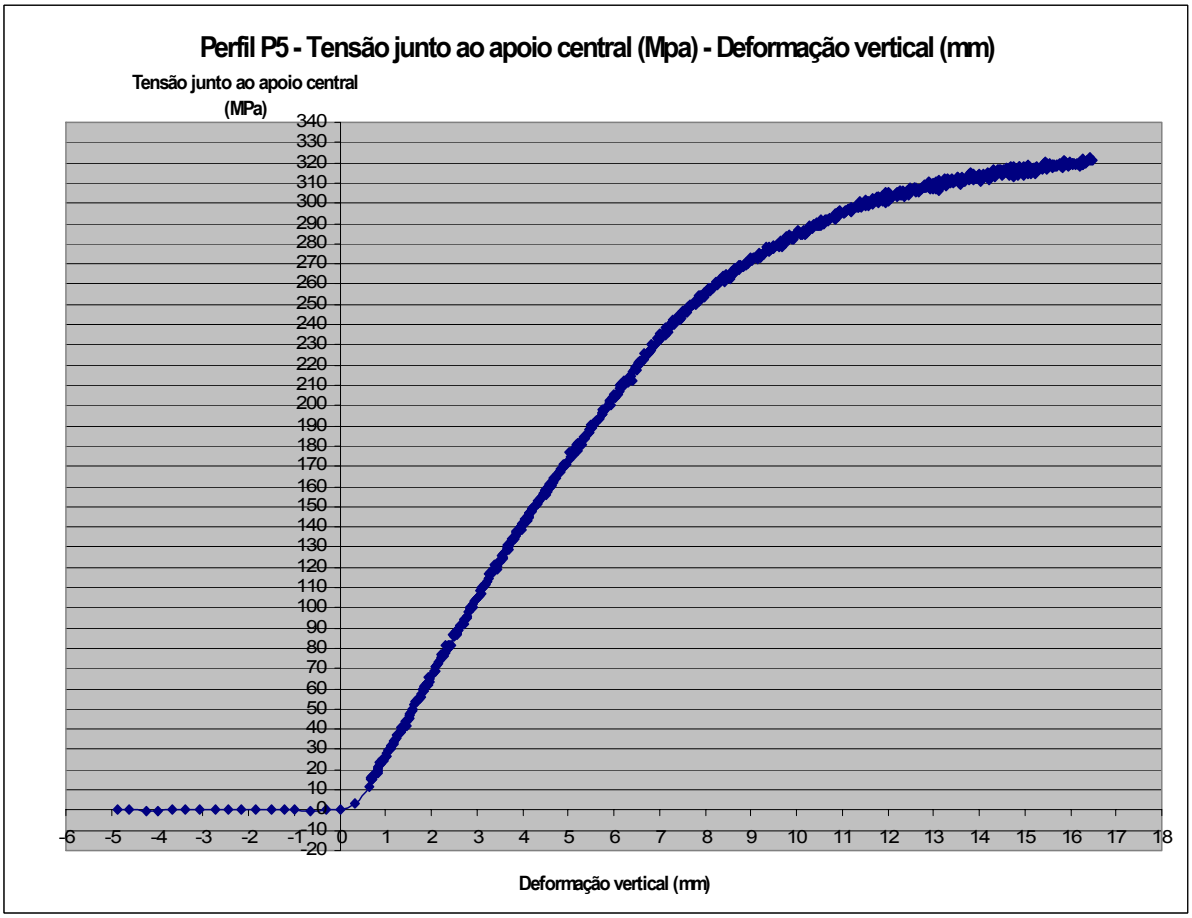


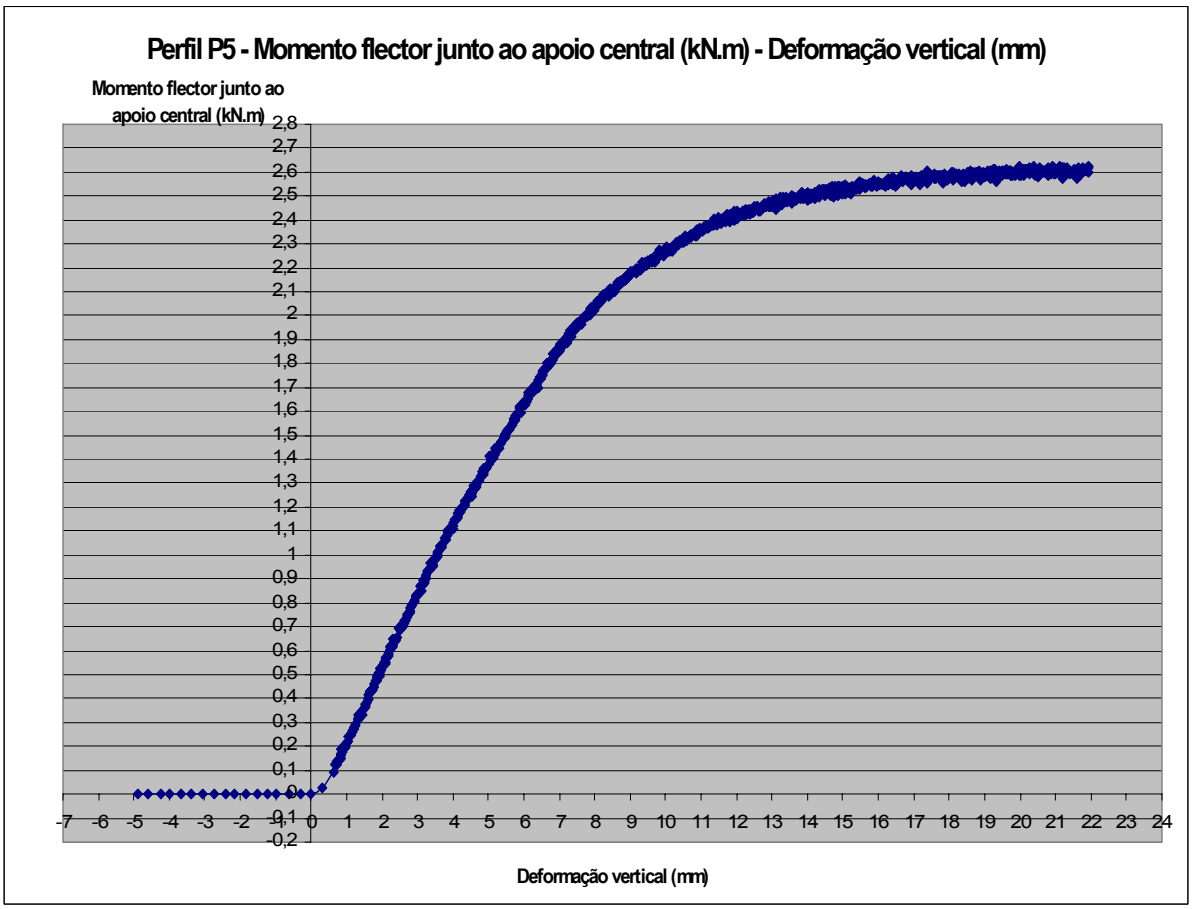

Perfil P4 - Momento flector junto ao apoio central (kN.m) - Deformação vertical (mm)
Momento flector junto ao apoio central (kN.m)
2,8
2,7
2,6
2,5
2,4
2,3
2,2
2,1
2
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1
-0,2
-7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
Deformação vertical (mm)

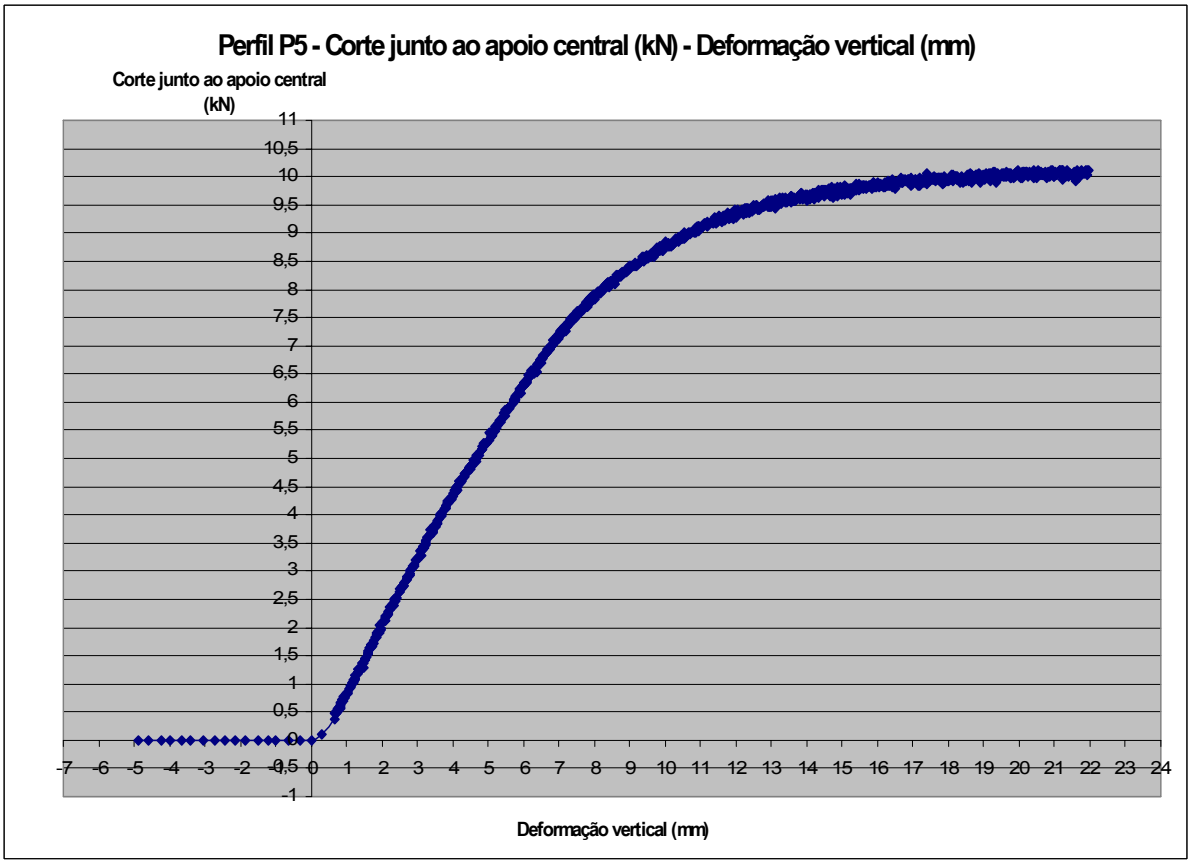

Perfil P4 - Corte junto ao apoio central (kN) - Deformação vertical (mm)
Corte junto ao apoio central (kN)
11
10,5
10
9,5
9
8,5
8
7,5
7
6,5
6
5,5
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-1
-7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
Deformação vertical (mm)

5.5.13 Resultados obtidos no ensaio do perfil P5






Perfil P5 - Momento flector junto ao apoio central (kN.m) - Deformação vertical (mm)
Momento flector junto ao apoio central (kN.m)
2,8
2,7
2,6
2,5
2,4
2,3
2,2
2,1
2
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1
-0,2
-7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Deformação vertical (mm)


Perfil P5 - Corte junto ao apoio central (kN) - Deformação vertical (mm)
Corte junto ao apoio central (kN)
11
10,5
10
9,5
9
8,5
8
7,5
7
6,5
6
5,5
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-0,5
-1
-7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Deformação vertical (mm)

5.5.14 Resultados obtidos ao atingir a tensão de cedência esperada

Provete	p (kN)	Tensão de cedência (MPa)	Momento flector resistente (kN.m)	Corte resistente (kN)	Deformação real (mm)
P1 (⊥)	6,07	112,9	0,90	4,17	5,27
P2 (⊥)	6,08	112,9	0,90	4,17	5,64
P3 (⊥)	6,07	112,9	0,90	4,17	5,57
P4 (T)	5,05	112,9	0,91	3,5	3,25
P5 (T)	5,06	112,9	0,91	3,5	3,25

5.5.15 Resultados estimados ao atingir a tensão de cedência esperada

Provete	p (kN)	Tensão de cedência (MPa)	Momento flector resistente (kN.m)	Corte resistente (kN)	Deformação esperada (mm)
P1,P2,P3 (⊥)	6,1	112,9	0,91	4,2	1,65
P4,P5 (T)	5,1	112,9	0,91	3,5	1,37

Como é possível verificar, os resultados esperados estão muito próximos dos resultados obtidos em ensaio, excepto as deformações. Esta variação no valor nas deformações, pode ser justificada pela dificuldade em controlar todas as deformações de todos os componentes existentes no ensaio, nomeadamente, apoios, células de carga, folgas no pórtico de ensaio, etc. São variações a uma escala muito reduzida e portanto muito difícil de controlar com o verdadeiro rigor.

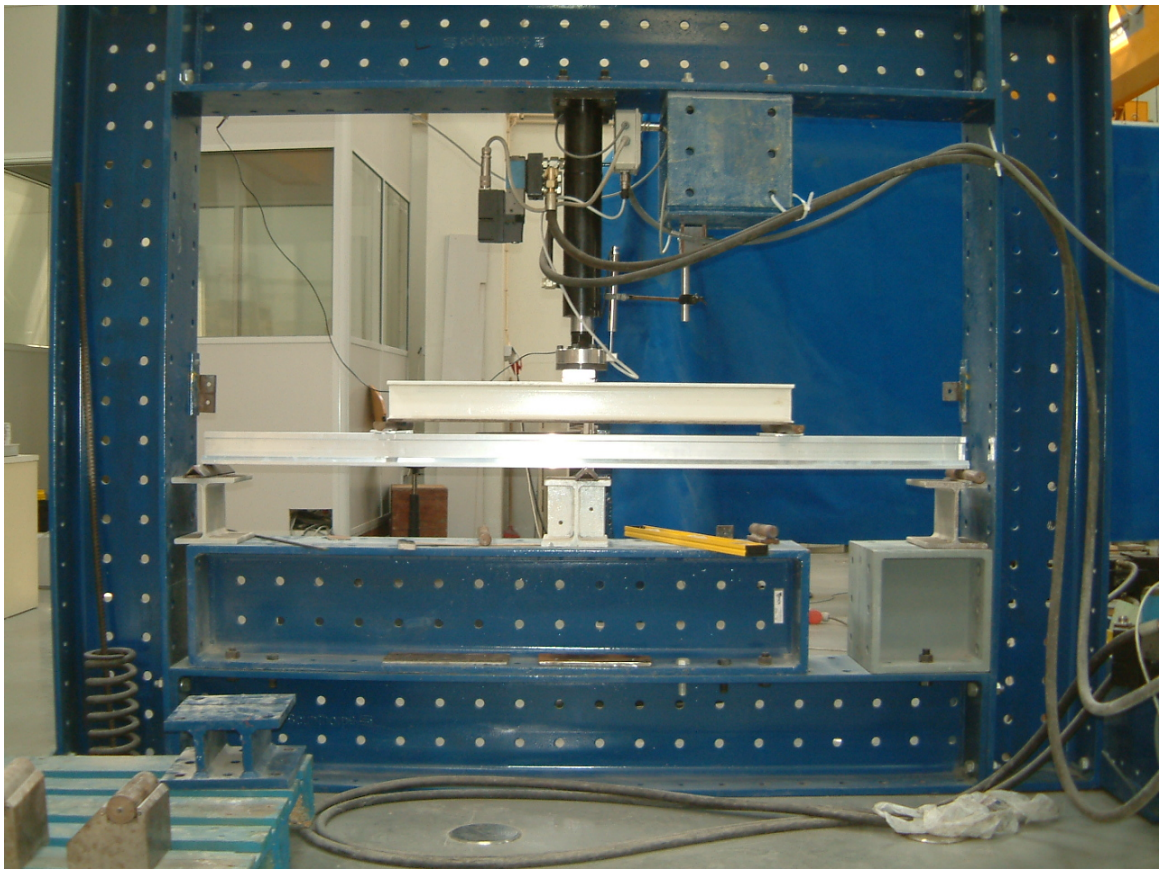
5.5.16 Resultados obtidos ao atingir a tensão de cedência real

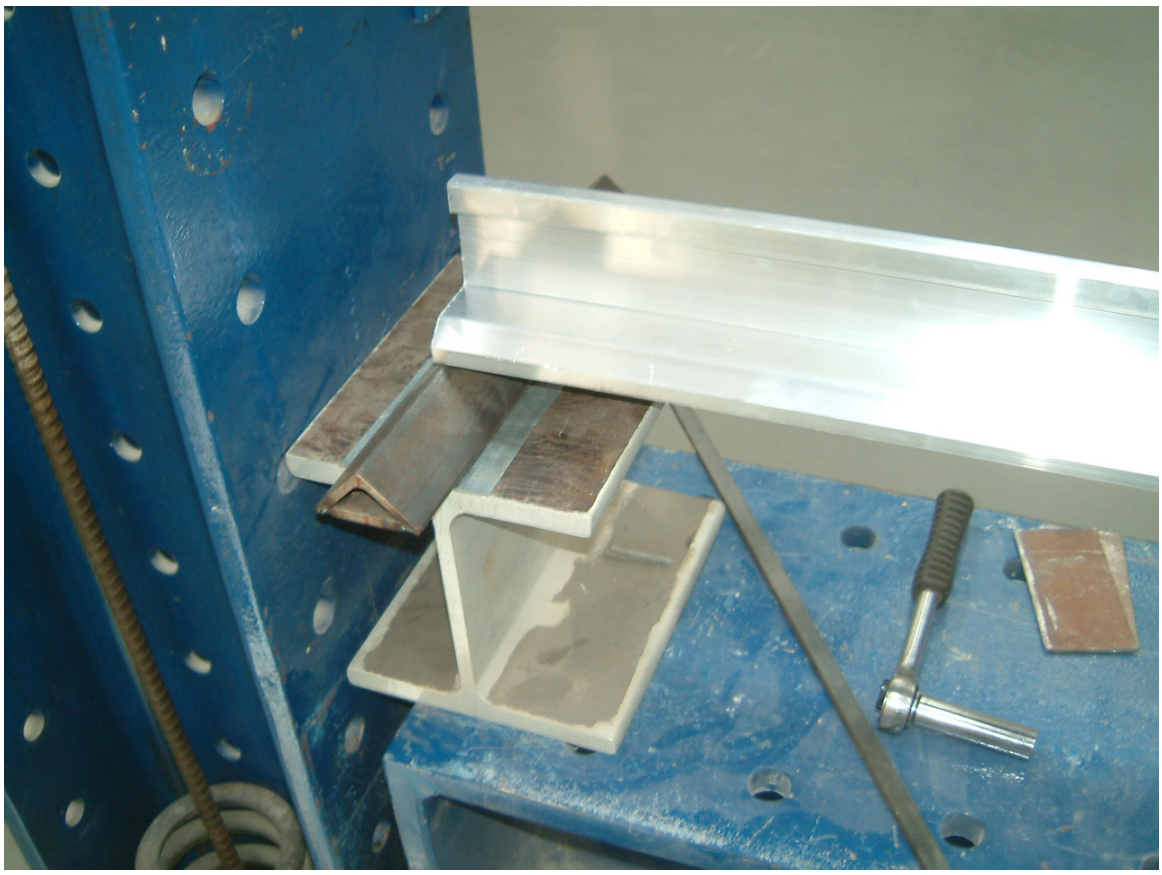
Provete	p (kN)	Tensão de cedência (MPa)	Momento flector resistente (kN.m)	Corte resistente (kN)	Deformação real (mm)
P1 (⊥)	8,63	160,4	1,28	5,93	7,27
P2 (⊥)	9,23	171,5	1,37	6,35	7,99
P3 (⊥)	8,66	161,0	1,29	5,96	7,43
P4 (T)	9,00	200,6	1,60	6,18	5,22
P5 (T)	7,21	160,4	1,28	4,94	4,65

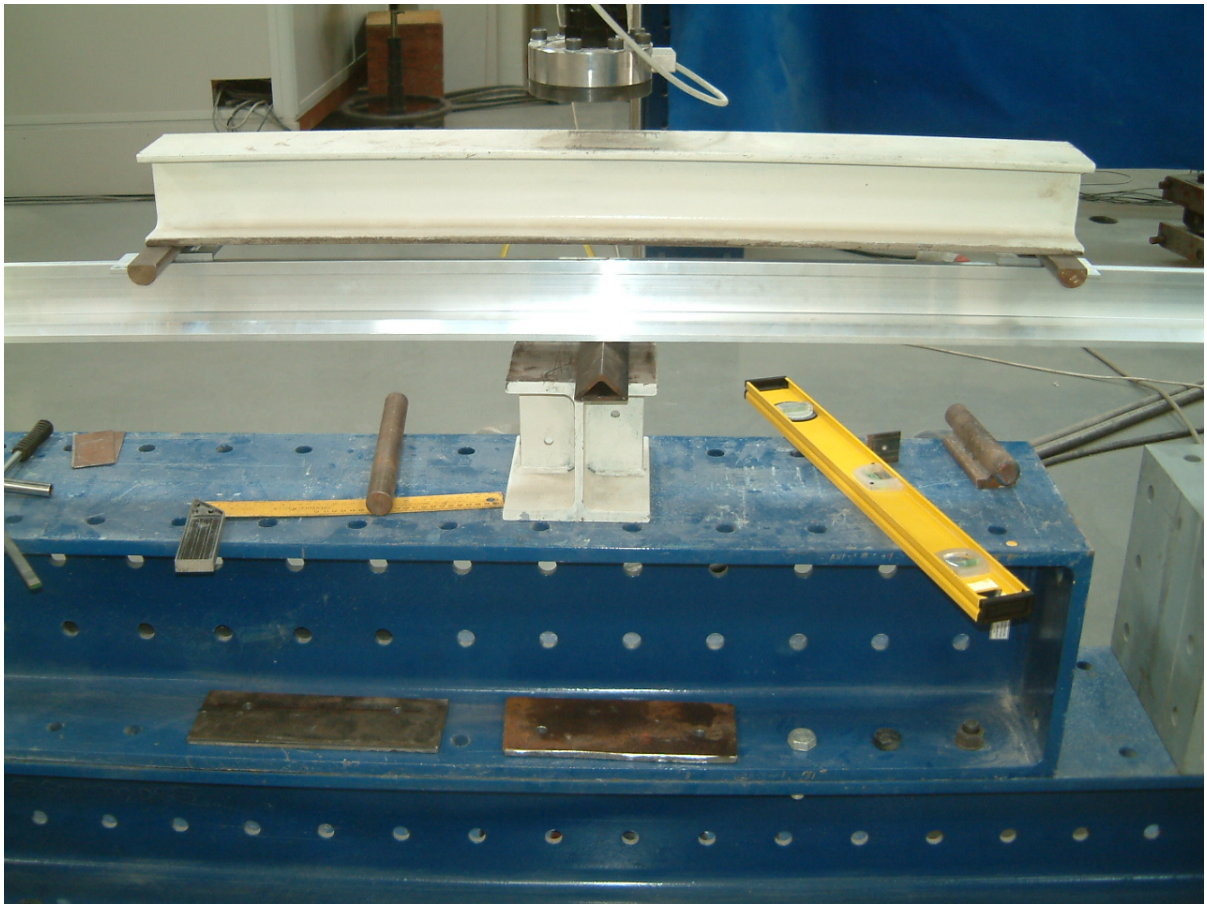
Como é possível observar, a tensão de cedência verificada nos perfis de alumínio ensaiados é superior à tensão de cedência característica indicada pelo Eurocódigo. Este facto justifica-se pelo próprio conceito de tensão característica e pelo desconhecimento do tratamento na têmpera no processo de extrusão do alumínio.

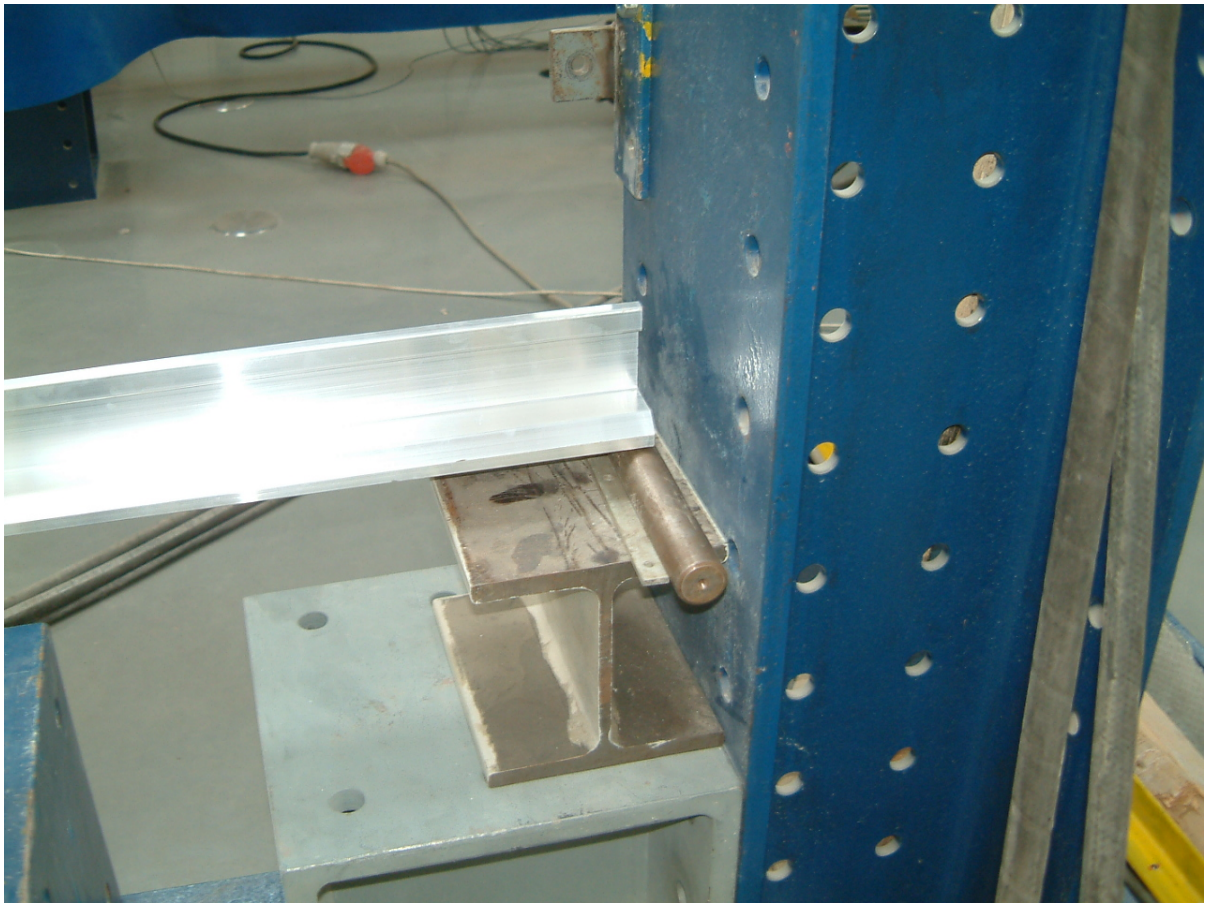
Com estes resultados, é possível concluir que o dimensionamento está correcto e que as propriedades mecânicas do alumínio ensaiado são superiores aos valores tabelados, aumentando assim o coeficiente de segurança do sistema.

5.5.17 Registo fotográfico dos ensaios

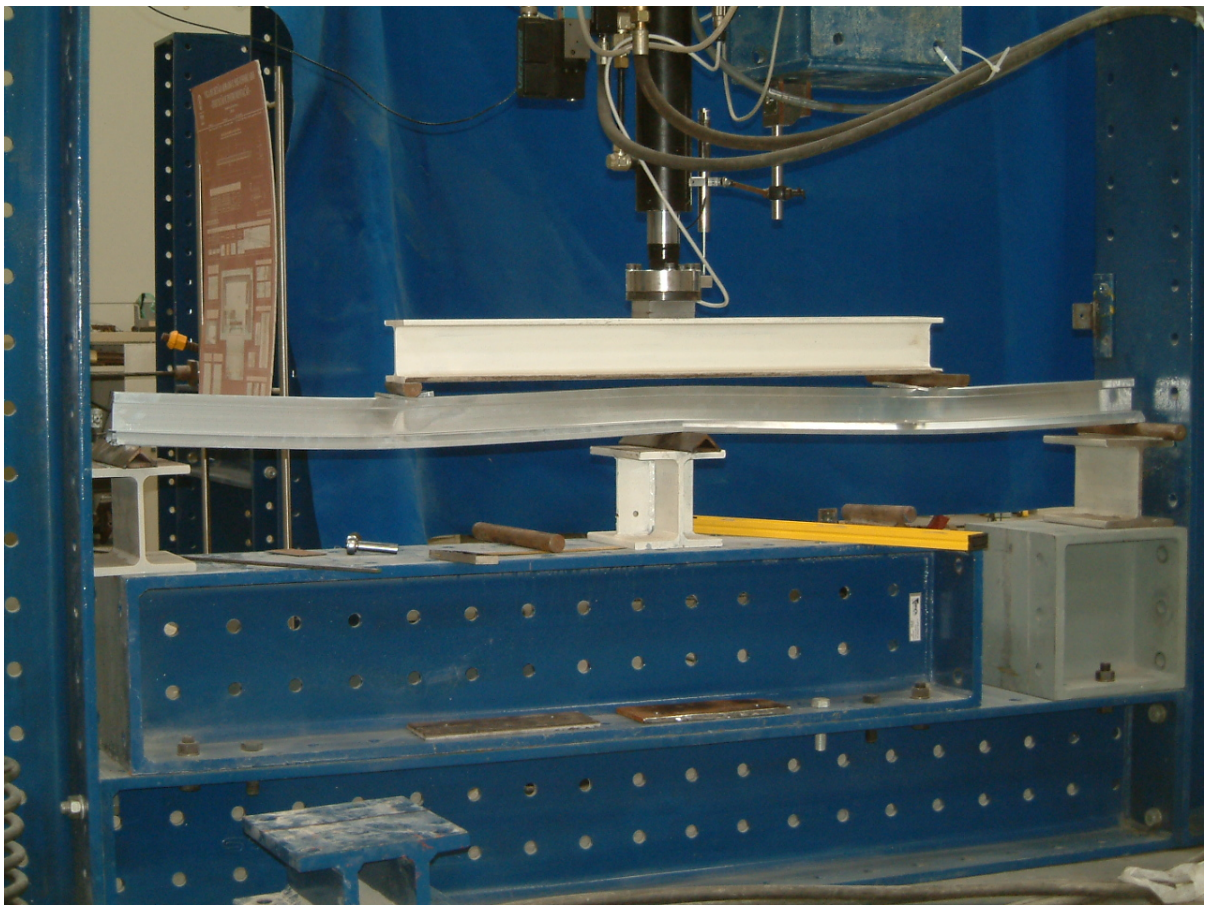


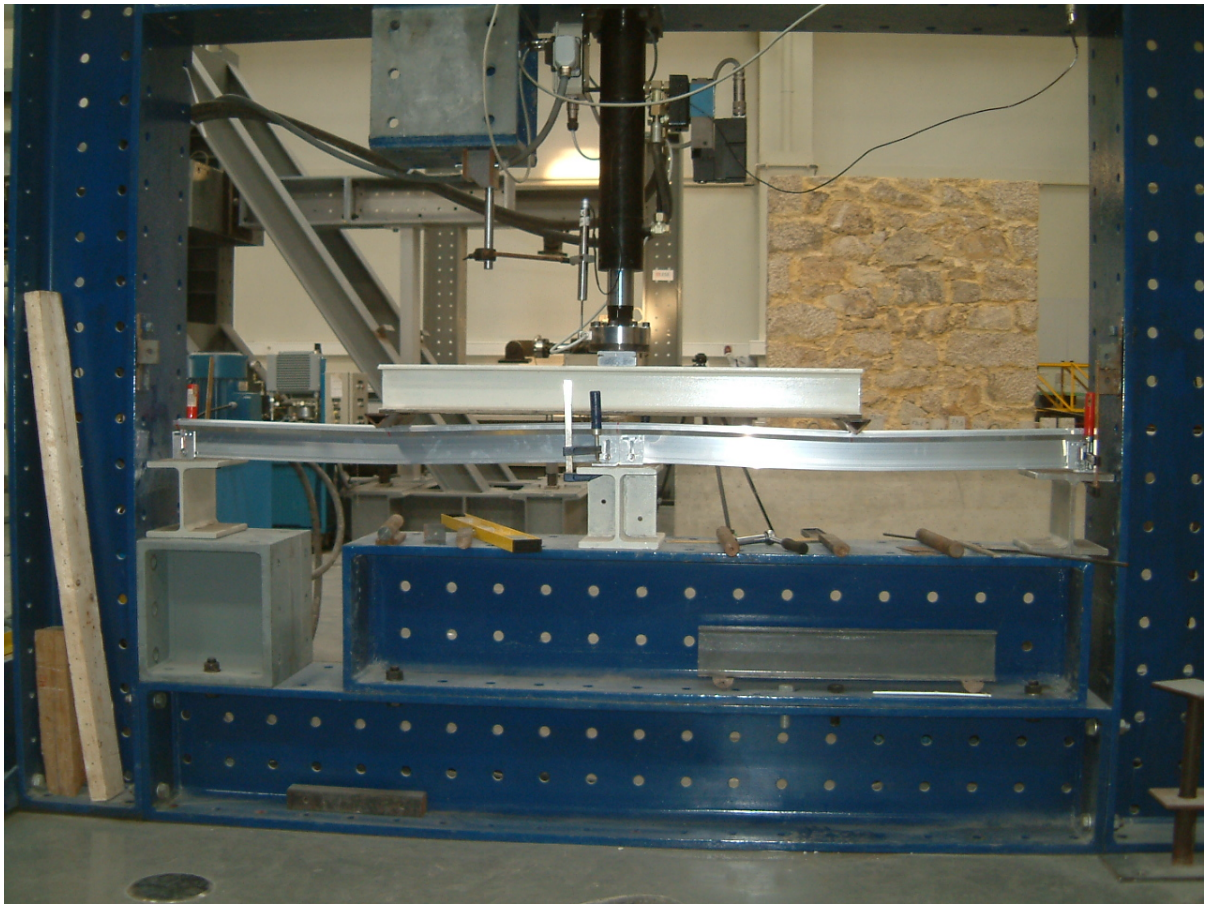




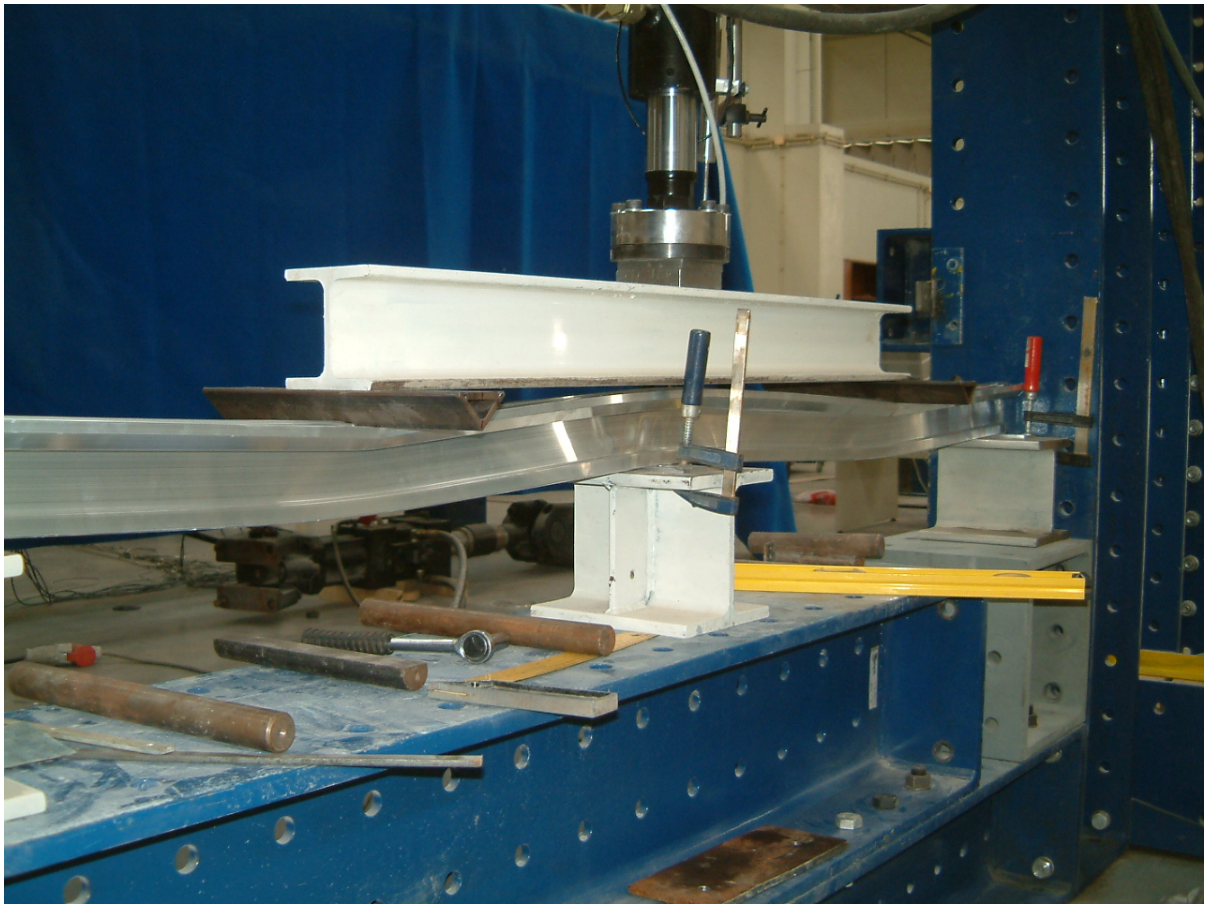














5.6 ENSAIOS "IN SITU" DAS ANCORAGENS AO ARRANCAMENTO E AO CORTE

5.6.1 Tipos de ensaios realizados

Para garantir que as ancoragens suportem os esforços transmitidos pela estrutura de alumínio devido às acções actuantes, foram feitos ensaios de arrancamento e corte "in situ", utilizando as seguintes combinações:

- Químico A com e sem camisa;
- Químico B com e sem camisa;
- Sem químico;

- Parafuso normal;
- Parafuso longo;
- Bucha mecânica;

- Suporte directamente em tijolo;
- Suporte na junta argamassada entre tijolos;
- Suporte em betão armado.

5.6.2 Resultados obtidos no ensaio

O ensaio consistiu em prender as diversas combinações de ancoragens nos vários tipos de suporte e com a ajuda de uma balança digital, medir a força necessária para a arrancar.

A tabela seguinte ilustra os resultados obtidos.

Tracção/Corte (kN)		**Parafusos ensaiados**					
		Parafuso normal com Químico A	Parafuso normal com camisa e Químico A	Parafuso normal com camisa e Químico B	Parafuso longo com Químico A	Parafuso longo com Químico B	Bucha mecânica sem Químico
Suportes ensaiados	**Tijolo**	n.d. / n.d.	**1,4** / n.d.	**1,4** / n.d.	**1,5** / n.d.	**1,5** / n.d.	n.d. / n.d.
	Junta de tijolo	n.d. / n.d.	**1,9** / n.d.	**1,9** / n.d.	**2,4** / n.d.	**2,4** / n.d.	**6,8** / n.d.
	Betão	**7,3** / n.d.	n.d. / n.d.	n.d. / n.d.	n.d. / n.d.	n.d. / n.d.	**14,7 / 15,7**

Desta forma, é possível concluir que, como era de esperar, o betão é o suporte mais resistente e aconselhável. O tipo de parafuso a utilizar, depende do tipo de suporte, isto é, caso o suporte seja betão, deve ser utilizada uma bucha mecânica, caso o suporte seja a junta de argamassa entre tijolos, o parafuso a utilizar também deve ser a bucha mecânica, e apenas quando o suporte é o tijolo directamente, então o parafuso a utilizar deve ser um parafuso o mais longo possível, utilizando uma bucha química. A figura seguinte mostra a ancoragem de um parafuso, através de uma bucha química num suporte perfurado em tijolo.



Figura 56 – Bucha química em tijolo perfurado

5.6.3 Registo fotográfico dos ensaios

As figuras seguintes mostram os ensaios realizados “in situ”.


















dynafor
168

MAX 5t
E02 301
dynafor
1604
kg













5.7 ESTIMATIVA ORÇAMENTAL E COMPARATIVA

5.7.1 Obra a realizar

A obra a realizar está localizada na Urbanização de Sº Tiago de Fraião, em Braga, obra esta com uma média de 3500 m2 de fachada.

As figuras seguintes mostram o edifício em questão.



Figura 57 – Edifício revestido com o sistema de fachada desenvolvido



Figura 58 – Perspectiva da fachada ventilada concluída

Uma vez desenvolvida a estereotomia da fachada, é possível quantificar com algum rigor cada componente constituinte, dos quais:

- Perfis simples de alumínio;
- Perfis duplos de alumínio;
- Cantoneiras de apoio em alumínio;
- Guias de dilatação térmica em alumínio;
- Suportes das placas de revestimento;
- Borrachas de encosto das placas de revestimento;
- Parafusos e anilhas;
- Buchas de aperto mecânico;
- Placas em grés porcelânico para o revestimento;
- Projectado de poliuretano.

5.7.2 Estimativa orçamental da fachada ventilada

Para a fachada em questão foram feitas as medições do material necessário, tendo em conta a adequada percentagem para desperdícios.

A tabela seguinte mostra as quantidades obtidas e os custos directos estimados. A estes custos teriam que ser adicionados todos os custos indirectos, nomeadamente o custo de desenvolvimento, dimensionamento e ensaio de todo o sistema, custos oriundos da produção de todo o material, etc.

	Quantidade	Preço Unitário	Preço global	Percentagens		
Perfis Simples de Alumínio de 2,95m (kg)	260	€ 3,56	€ 925,60	0,71%		
Perfis Simples de Alumínio de 2,75m (kg)	1800	€ 3,56	€ 6.408,00	4,90%		14,74%
Perfis Duplos de Alumínio de 2,95m (kg)	2800	€ 3,56	€ 9.968,00	7,63%		
Perfis Duplos de Alumínio de 2,75m (kg)	550	€ 3,56	€ 1.958,00	1,50%		
Guias de dilatação térmica em Alumínio (Un)	1800	€ 1,50	€ 2.700,00	2,07%	26,1%	2,07%
Suportes das placas de revestimento (Un)	18000	€ 0,55	€ 9.900,00	7,58%		7,58%
Borrachas de encosto das placas de revestimento (ml)	5000	€ 0,25	€ 1.250,00	0,96%		0,96%
Parafusos M6 com anilhas e fêmeas (Un)	5000	€ 0,04	€ 175,00	0,13%		0,76%
Parafusos M5 com anilhas (Un)	3500	€ 0,05	€ 162,75	0,12%		
Buchas de aperto mecânico (Un)	4500	€ 0,15	€ 657,00	0,50%		
Placas em Grés Porcelânico (m2)	3300	€ 24,00	€ 79.200,00	60,60%		
Projectado de Poliuretano (m2)	3100	€ 2,80	€ 8.680,00	6,64%		
Mão-de-obra para aplicação (H.h)	2600	€ 10,00	€ 26.000,00	19,90%		

Total		€130.682,75	100,00%
€/m²		€50,26	
Área real (m2)	2600		

5.7.3 Estimativa orçamental da fachada tradicional

Admitindo uma fachada tradicional em tijolo, com chapisco, emboço, reboco, cerezite, colagem de granito pelo exterior e aplicação do isolamento térmico na caixa-de-ar, os custos estimados são os indicados na tabela seguinte:

Parcelas de custo	**€/m²**		**%**
Mão-de-obra para chapisco, emboço, reboco e cerezite	10	20	37%
Mão-de-obra para colagem de ladrilhos em granito	10		
Fornecimento de granito	24	33,5	63%
Argamassa para chapisco, emboço, reboco e cerezite	1,5		
Cimento cola para colagem do granito	2,5		
Betume para juntas do granito	1		
Fornecimento de poliestireno extrudido para a caixa-de-ar	2,5		
Hidrorepelente para aplicação no granito	2		

Custo Total (€/m²)	**53,5**

Como é possível verificar, pela observação das duas tabelas anteriores em comparação, ambas as fachadas apresentam valores de custo de mercado muito semelhantes, sendo a fachada ventilada ligeiramente mais económica do que a fachada tradicional. Estes valores foram calculados, tendo em conta um custo igual do revestimento, fazendo variar o preço dos restantes componentes e respectiva mão-de-obra de aplicação para cada caso específico.

Na fachada tradicional, a mão-de-obra representa uma grande percentagem no custo relativo final, uma vez que este tipo de trabalho requer vultuosas quantidades em mão-de-obra. Por outro lado, este tipo de fachada permite a colagem de materiais menos nobres, e por conseguinte, menos dispendiosos, o que diminui o custo final da fachada. Logo, a comparação poderia ter sido efectuada com materiais de colagem mais baratos, mas optou-se por escolher revestimentos com iguais custos de comercialização, distinguindo assim apenas os custos dos componentes auxiliares e mão-de-obra.

Caberia aqui uma comparação não só do custo inicial da fachada, como foi feito, mas também do custo global a longo prazo. Nestes custos enquadram-se além do inicial, o custo da manutenção, reparação e/ou substituição, de conservação e limpeza, devidamente actualizados à data da comparação. A falta de dados informativos sobre as características económicas de ambos os sistemas, não permite com facilidade que esta comparação seja apresentada. No entanto, é compreensível que um sistema não aderente, seja eventualmente de custo inicial semelhante, ou até superior, mas com um custo global a longo prazo francamente inferior.

5.8 MONTAGEM DO SISTEMA PROTÓTIPO DE FACHADA VENTILADA DESENVOLVIDO

Para assegurar que a montagem do revestimento seja concluída dentro do prazo estabelecido, devem estar assegurados os seguintes aspectos:

- Programação para a execução das ancoragens e sequência de montagem da fachada;
- Possuir todos os projectos actualizados de arquitectura e/ou estrutura, contendo todos os dados relevantes para a execução do revestimento, como localização de vigas e pilares, medidas e localização de portas e janelas, pé-direito, alçados e plantas com o desenvolvimento da estereotomia da fachada;
- Controlar o prazo para a conclusão dos projectos de execução;

Todos os materiais, equipamentos e ferramentas, devem ser posicionados nos locais de utilização. A fachada deve estar livre de irregularidades que impeçam a montagem do sistema. Após verificadas estas condições e estando definida a estereotomia da fachada, dá-se início à montagem da mesma, que consiste nas seguintes etapas:

- Marcação (desenho da trama estrutural sobre o suporte a ser revestido);
- Posicionamento das ancoragens e cantoneiras;
- Instalação dos perfis de alumínio;
- Aplicação do isolamento térmico;
- Preparação das placas de revestimento (caso seja necessário);
- Colocação dos suportes de fixação e das placas de revestimento.

Estas etapas são descritas detalhadamente em seguida, através da montagem do sistema protótipo desenvolvido.

5.8.1 Marcação

A marcação da trama estrutural sobre a base suporte do edifício a ser revestida, é a actividade que envolve um conjunto de medidas, com o objectivo de definir o correcto posicionamento da estrutura auxiliar de suporte. Devem ser traçados alinhamentos de prumadas e de nível, com a ajuda de equipamentos laser, topográficos ou através do esticamento de cabos de aço, de forma a garantir com o máximo de rigor, a homogeneidade no desenvolvimento da fachada em altura.

Uma vez identificados estes alinhamentos, devem ser marcados no suporte, quer seja pela utilização de um fio de marcação, quer pelo esticamento dos cabos de aço já referidos.

Na figura seguinte é possível observar a marcação da trama estrutural sobre o suporte:



Figura 59 – Marcação da trama estrutural sobre a base de suporte

5.8.2 Posicionamento das ancoragens e cantoneiras

Após a marcação da trama estrutural, o passo seguinte é a furação para a instalação das ancoragens. Com o auxílio de uma broca indicada para o substrato escolhido, são realizados furos com o diâmetro da ancoragem a instalar, devidamente identificados na fase da marcação. Após a conclusão do furo, é inserida a ancoragem escolhida, procedendo ao respectivo aperto. É muito importante verificar a fidelidade do aperto da ancoragem, pois a sua falha pode resultar numa queda parcial da fachada, com todas as consequências inevitáveis que podem surgir.

As figuras seguintes ilustram as fases para a instalação das ancoragens e cantoneiras.



Figura 60 – Furação para a instalação das ancoragens

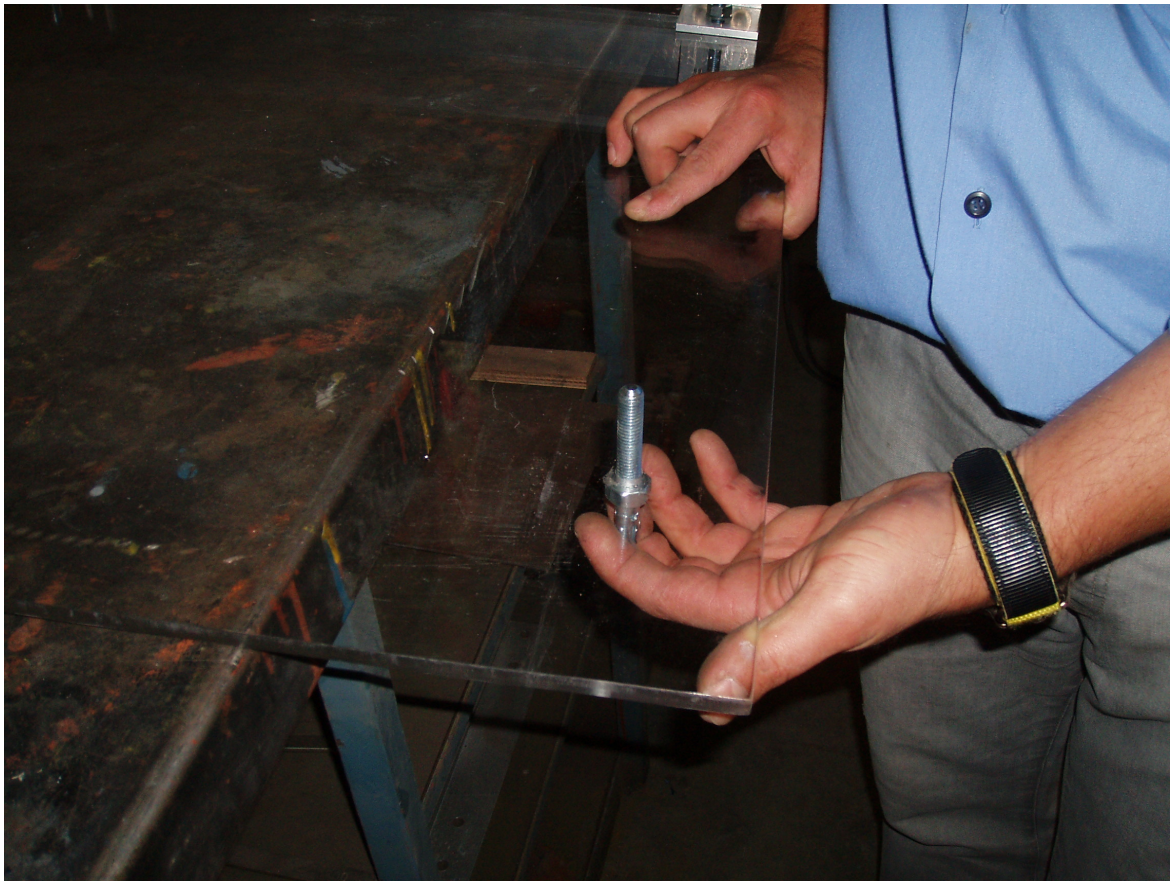


Figura 61 – Introdução da ancoragem



Figura 62 – Aperto da cantoneira na ancoragem

5.8.3 Instalação dos perfis de alumínio

Após a marcação, realizada a furação, introduzidas as ancoragens e apertadas as cantoneiras nas mesmas, a instalação dos perfis fica automaticamente definida em termos de posicionamento e quantidade de apoios a adoptar, sendo apenas necessário aparafusar os perfis às cantoneiras. Este aperto só deve ser iniciado depois de verificada, com exactidão, a fidelidade do aperto das cantoneiras nas ancoragens sobre o substrato de fixação, falado anteriormente.

Na figura seguinte é possível observar o aperto do perfil numa cantoneira de apoio.



Figura 63 – Aperto do perfil na cantoneira.

Os perfis em EPDM devem ser aplicados no perfil de alumínio de acordo com a imagem seguinte.



Figura 64 – Aplicação do perfil em EPDM no perfil de alumínio

5.8.4 Aplicação do isolamento térmico

O isolamento térmico pode ser colocado em placas ou projectado em espuma. Tendo sido já referidas as vantagens de cada sistema, é aqui indicada apenas, a forma da aplicação da espuma de poliuretano.

A projecção é feita à pistola, da mesma forma que uma pintura, procurando obter a mesma espessura de espuma ao longo de toda a fachada, cobrindo todos os pontos críticos, como é o caso das intersecções da base de suporte com portas e janelas.

Deve ter-se em especial atenção o equipamento de segurança necessário, nomeadamente máscaras, luvas, viseiras e fato de protecção.

5.8.5 Preparação das placas de revestimento

O sistema de acoplamento visível não necessita de qualquer preparação das placas de revestimento, uma vez que a placa é directamente aplicada na estrutura de suporte, sem a necessidade de um tratamento prévio. Neste caso, um sistema com acoplamento oculto é caracterizado pela manipulação prévia das placas de revestimento. Esta manipulação prévia consiste na abertura de rasgos na espessura da peça, que servirão para o encaixe de "clips" que se auto-suportam por pressão no perfil.

É aqui feita especial atenção à abertura de rasgos na espessura das peças. Neste caso, deve ser idealizado um sistema de furação, que através de discos de corte de reduzido raio e reduzida espessura, perfurem uns pequenos rasgos na espessura da peça. Estes rasgos não devem ser muito espessos, nem muito profundos, devendo ficar distanciados da face exterior da placa, aproximadamente $1/3$ da espessura da peça, para melhor resistir aos esforços de arrancamento e sucção. A figura seguinte mostra a abertura de rasgos na espessura de uma placa de revestimento.



Figura 65 – Abertura de rasgos na espessura de uma placa de grés porcelânico

5.8.6 Colocação dos suportes de fixação e das placas de revestimento

O último passo da montagem é a fixação das placas de revestimento à estrutura auxiliar, através dos suportes de fixação.

No caso da opção pelo revestimento com acoplamento visível, ou oculto, na espessura da placa, a fixação é feita de baixo para cima, através da utilização de "clips" especiais, fixados nos perfis verticais. O primeiro alinhamento de "clips" é feito com o auxílio de um fio de nível, que garanta a uniformização no posicionamento inicial da primeira fiada de placas. As placas de revestimento são de seguida colocadas nos "clips", tendo em atenção o alinhamento e largura das juntas verticais, através da utilização de uma "bitola" ou cruzetas plásticas, que garantam o correcto espaçamento entre placas. O espaçamento das juntas horizontais é automaticamente definido pela geometria dos próprios "clips", que garantem uma uniformização do espaçamento ao longo do desenvolvimento da fachada em altura.

Na interface das placas e perfis devem ser utilizados materiais que absorvam as vibrações e ruídos provocadas pelo vento, nomeadamente perfis em EPDM, mástiques, silicones ou uma guarnição têxtil.

As figuras seguintes mostram a fixação das placas de revestimento à estrutura auxiliar, através dos suportes de fixação.

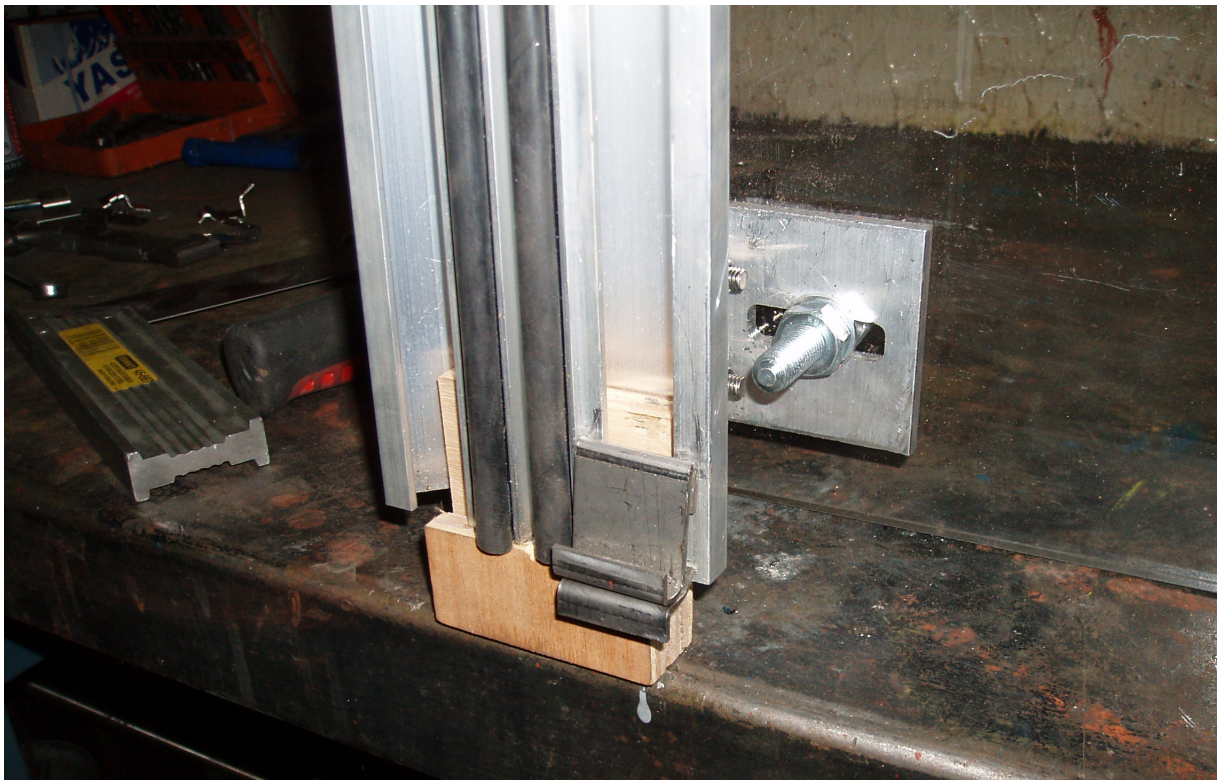


Figura 66 – Colocação da primeira fiada de suportes de fixação



Figura 67 – Fixação das placas de revestimento



Figura 68 – Colocação da segunda fiada de suportes de fixação



Figura 69 – Apresentação final do sistema protótipo desenvolvido

5.8.7 Registo fotográfico da montagem da fachada desenvolvida

Nesta secção seria apresentada uma sequência de imagens, ilustrando todos os procedimentos inerentes à montagem do sistema desenvolvido, com placas de grés porcelânico fixado à estrutura em liga de alumínio por intermédio de “clips” de pressão, aplicado na obra anteriormente indicada. Infelizmente, esta comprovação pratica da aplicação deste sistema, não será realizada atempadamente para a entrega desta dissertação, podendo ser desenvolvida posteriormente em futuros trabalhos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível afirmar com convicção, que as fachadas ventiladas representam uma evolução no processo de produção de fachadas em edifícios, tanto no aspecto construtivo (processo com alto índice de industrialização), como também no desempenho proporcionado. São de facto um ponto marcante na história da evolução das fachadas, pois apresentam uma solução para os problemas termo-higroscópicos inerentes às fachadas tradicionais, que normalmente originam fissuração e humidades por infiltração.

Em Portugal, este tipo de sistemas de fachada ainda é comercializado a preços muito elevados. É desenvolvida neste trabalho, uma nova tecnologia para a aplicação de um sistema de fachada ventilada, de acordo com as exigências das actuais obras nacionais, a custos bastante competitivos. Fica aqui provado que é possível melhorar a qualidade das fachadas dos nossos edifícios, sem necessariamente aumentar drasticamente os custos. Basta para isso possuir os conhecimentos e experiência para desenvolver e aplicar novos conceitos, não dependendo de soluções existentes que chegam pela fronteira e que por razões de mercado, impedem que estes sistemas de fachada ventilada sejam implantados e desenvolvidos no nosso país.

Contudo, um aspecto que deve ser levado em consideração na opção por este tipo de revestimento é a sua comercialização como sistema de produção, ou seja, revestimento aplicado com garantia de desempenho, englobando o projecto completo para a produção, o serviço de montagem, a manutenção e a garantia efectiva em contrato do desempenho global do sistema. A adopção de outros critérios de comercialização, pode levar ao fracasso de todo o sistema, já que a implantação desta tecnologia requer que se tenha um domínio tecnológico de todos os subsistemas com quem esta possui uma interface. Além de levar em consideração as peculiaridades de cada obra, a implantação de um sistema de fachada ventilada, deve ser precedida por um estudo concreto, de forma a tornar o sistema totalmente integrado com os demais elementos que compõem a envolvente externa dos edifícios, tais como as ligações com as caixilharias de portas e janelas e os remates do topo e do fundo da fachada, criando uma “solução construtiva global”.

As fachadas dos edifícios revestidas através de colagens serão gradualmente substituídas pelas fachadas com revestimentos não aderidos, quer seja em edifícios novos, quer seja em edifícios em reabilitação, devido às inúmeras vantagens proporcionadas por este tipo de tecnologia. Basta para isso, dar a conhecer as suas vantagens e tornar os custos mais competitivos.

DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A presente dissertação pretende contribuir para uma maior divulgação e conhecimento dos sistemas de fachada ventilada.

Por se tratar de um tema extenso e abarcar vários domínios do conhecimento da engenharia civil, física e mecânica das construções, muito ficou por abordar e em alguns casos por aprofundar. O objectivo principal foi centrado na criação de um protótipo, que se mostrasse competitivo para a criação de um sistema modular para fachadas ventiladas. Os ensaios e resultados experimentais aqui apresentados, deixam antecipar de forma satisfatória que o desempenho do sistema desenvolvido se mostre eficaz, económico e portanto com boas perspectivas de desenvolvimento. Mesmo assim, o conhecimento do seu desempenho a nível global, só será conhecido na realidade após alguns anos de serviço “in situ”, devendo ser ajustado através de uma busca contínua, pela melhoria do desempenho global do sistema.

Espera-se, portanto, que o sistema desenvolvido seja aplicado num número crescente de obras, com o devido acompanhamento técnico, onde se procure atingir um aperfeiçoamento contínuo a todos os níveis. Serão quantificados, pormenorizadamente, os custos directos resultantes da sua aplicação em casos concretos, bem como os custos resultantes da sua manutenção a longo prazo, através de uma análise temporal do sistema em serviço.

BIBLIOGRAFIA

- Rui Camposinhos; *"Perfis tubulares em liga de alumínio – Dimensionamento segundo o EC9"*, Sebenta de Métodos e Técnicas de Construção - ISEP, 2004, Porto
- Rui Camposinhos; *"Dimensionamento de ancoragens"*, Sebenta de Métodos e Técnicas de Construção - ISEP, 2004, Porto
- Rui Camposinhos; *"Estanquidade em fachadas"*, Sebenta de Métodos e Técnicas de Construção - ISEP, 2004, Porto
- Rui Camposinhos; *"Juntas de Construção"*, Sebenta de Métodos e Técnicas de Construção - ISEP, 2004, Porto
- Rui Camposinhos; *"Revestimento de fachadas com pedra natural"*, Sebenta de Métodos e Técnicas de Construção - ISEP, 2004, Porto
- Amaury Júnior; *"Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato"*, Dissertação de mestrado, 2003, São Paulo – Brasil
- APICER, CTCV, DEC FEUP, DEC FCTUC; *"Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos"*, 2003, Coimbra
- APICER, CTCV, DEC FCTUC; *"Manual de alvenaria de tijolo"*, 2003, Coimbra
- Vasco Freitas; *"Isolamento térmico de fachadas pelo exterior"*, Apontamentos de Tecnologia de Fachadas - FEUP, 2004/2005, Porto
- Helena Corvacho; *"Comportamento térmico dos edifícios"*, Apontamentos de Comportamento Térmico dos Edifícios - FEUP, 2004/2005, Porto
- Paulo Cruz; *"Mecânica das estruturas e dos materiais II"*, Apontamentos de Mecânica das estruturas e dos materiais - UM, 2000, Guimarães
- Aires Camões; *"Introdução aos materiais de construção"*, Apontamentos de Introdução aos materiais de construção - UM, 2000, Guimarães
- Barroso Aguiar; *"Materiais de Construção II"*, Apontamentos de Materiais de construção II - UM, 2000, Guimarães

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das alvenarias ao longo dos anos em Portugal 17
Figura 2 – Sistema ETICS e fachada cortina em Portugal (Anos 90) 18
Figura 3 – Fachada ventilada montada em obra 19
Figura 4 – Fachada ventilada pré-fabricada 20
Figura 5 – Fachada ventilada fixada com acoplamento visível 21
Figura 6 – Fachada ventilada fixada com acoplamento oculto no tardoz da peça (grés porcelânico) .. 22
Figura 7 – Fachada ventilada fixada com acoplamento oculto no tardoz da peça (cerâmico) 22
Figura 8 – Acoplamento oculto na espessura da peça (grés porcelânico) 23
Figura 9 – Fachada ventilada fixada com acoplamento oculto na espessura da peça (granito) 23
Figura 10 – Placa de alumínio composto 24
Figura 11 – Sistema de fixação pontual para placas em pedra natural 25
Figura 12 – Placas cerâmicas apoiadas no tardoz através de uma estrutura auxiliar 28
Figura 13 – Placas de grés porcelânico de 600mm x 1200mm 30
Figura 14 – Sistema de acoplamento visível para placas com 20mm de espessura 31
Figura 15 – Sistema de acoplamento oculto aplicado no tardoz de uma placa de grés porcelânico ... 32
Figura 16 – Ganchos de fixação aplicados no tardoz de uma placa de grés porcelânico 33
Figura 17 – Sistema de acoplamento oculto aplicado na espessura da placa de grés porcelânico 33
Figura 18 – Diferenças no perfil de temperaturas em função da colocação do isolamento térmico 36
Figura 19 – Corte esquemático da representação de um sistema de fachada ventilada 40
Figura 20 – Etapas relativas ao desenvolvimento do processo de projecto de fachadas ventiladas ... 43
Figura 21 – Deformações a que a fachada ventilada está sujeita devido a movimentos estruturais ... 46
Figura 22 – Comparação de diferentes materiais de isolamento térmico 48
Figura 23 – Condensação do vapor de água devido à variação na localização do isolamento térmico 50
Figura 24 – Aplicação de Poliuretano projectado numa cobertura 52
Figura 25 – Propriedades de placas de poliestireno extrudido 53
Figura 26 – Aplicação de placas de poliestireno extrudido numa fachada ventilada 54
Figura 27 – Aberturas em baixo e no topo para a ventilação numa fachada ventilada 56
Figura 28 – Aplicação de um composto para melhoria da resistência ao fogo dos elementos 58
Figura 29 – Características técnicas de uma placa de grés porcelânico 61
Figura 30 – Penetração da água pelo efeito da gravidade 65
Figura 31 – Penetração da água pelo efeito da quantidade de movimento 66
Figura 32 – Penetração da água pelo efeito da tensão superficial 66
Figura 33 – Penetração da água pelo efeito da capilaridade 67
Figura 34 – Controlo da penetração da água pelo efeito da acção do vento (PEC) 67
Figura 35 – Características mecânicas do alumínio 78
Figura 36 – Propriedades físicas de ligas de alumínio correntes 78
Figura 37 – Contacto entre diferentes materiais 79
Figura 38 – Dispositivo de fixação por adesão química 81
Figura 39 – Dispositivo de fixação mecânica 82
Figura 40 – Cantoneira de alumínio furada com possibilidade de afinação 84
Figura 41 – Utilização de “calços” na afinação do prumo dos perfis 85
Figura 42 – Grua torre 87
Figura 43 – Grua auto montante 87
Figura 44 – Guincho ou monta-cargas 88
Figura 45 – Andaime de fachada 89
Figura 46 – Mesa de corte longitudinal e transversal 90
Figura 47 – Mesa de corte de nível 90
Figura 48 – Esquema geral do sistema protótipo desenvolvido 98

Figura 49 – Perfil de alumínio na sua forma definitiva 99
Figura 50 – Cantoneira de apoio dos perfis 100
Figura 51 – “Clips” ocultos auto-sustentados 100
Figura 52 – Acoplamento dos “clips” ocultos auto sustentados em placas de grés porcelânico 101
Figura 53 – Perfil em EPDM para apoio das placas do revestimento 102
Figura 54 – Guia de alumínio 103
Figura 55 – Aplicação da guia de alumínio no perfil em substituição dos parafusos sextavados 103
Figura 56 – Bucha química em tijolo perfurado 153
Figura 57 – Edifício revestido com o sistema de fachada desenvolvido 161
Figura 58 – Perspectiva da fachada ventilada concluída 162
Figura 59 – Marcação da trama estrutural sobre a base de suporte 166
Figura 60 – Furação para a instalação das ancoragens 167
Figura 61 – Introdução da ancoragem 168
Figura 62 – Aperto da cantoneira na ancoragem 168
Figura 63 – Aperto do perfil na cantoneira. 169
Figura 64 – Aplicação do perfil em EPDM no perfil de alumínio 170
Figura 65 – Abertura de rasgos na espessura de uma placa de grés porcelânico 171
Figura 66 – Colocação da primeira fiada de suportes de fixação 172
Figura 67 – Fixação das placas de revestimento 173
Figura 68 – Colocação da segunda fiada de suportes de fixação 173
Figura 69 – Apresentação final do sistema protótipo desenvolvido 174