

DM

O Vidro na Indústria da Construção

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Vanessa Maria Gomes Garanito

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

dezembro | 2018

O Vidro na Indústria da Construção

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Vanessa Maria Gomes Garanito

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR

Lino Manuel Serra Maia



O vidro na indústria da construção

Tese submetida para o grau de Mestre em Engenharia Civil na Universidade da Madeira

por

Vanessa Maria Gomes Garanito

Orientador

Lino Manuel Serra Maia

(Universidade da Madeira)

Dezembro 2018

Título: O vidro na indústria da construção

Palavras-chave: Fachadas em vidro, Vidro, Vidro duplo, Vidro laminado.

Keywords: Glass facades, Glass, Double glass, Laminated glass.

Autor: VANESSA GARANITO

FCEE – Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário da Penteada

9020 - 105 Funchal – Portugal, s/n

Telefone + 351 291 705 230

Correio eletrónico: secretariado.cccee@uma.pt

Funchal, Madeira

RESUMO

A aplicação do vidro na construção tem registado, ao longo do tempo, um crescimento gradual na construção civil, com múltiplos propósitos, tais como janelas, guarda corpos, pavimento entre outros. O desenvolvimento tecnológico e a investigação científica têm contribuído para a introdução de novas técnicas de produção e emprego deste material, deixando a sua utilização à mercê da criatividade dos arquitetos. Um dos objetivos deste trabalho é analisar a evolução do uso do vidro como material de construção civil, desde o seu descobrimento até aos dias atuais, demonstrando as tecnologias utilizadas na sua fabricação, especificação e instalação.

Este material apresenta um conjunto de características mecânicas que, do ponto de vista estrutural, oferecem algumas limitações a serem devidamente acauteladas, sendo a mais relevante a sua fragilidade quando quer vencer vãos de grande dimensão. A presente dissertação procura explorar os referidos limites, culminando com a realização de um estudo sobre o cálculo da espessura de um vidro, a aplicar numa fachada de uma habitação, sendo apresentadas quatro soluções para o respetivo apuramento.

Considerando que, por regra, as características dos vidros a serem aplicados nas obras são determinadas com recurso à opinião das vidreiras, neste trabalho foi igualmente estabelecida uma comparação entre alguns métodos de cálculo para determinar a sua espessura e uma solução apresentada por uma vidreira.

Assim, esta dissertação visa auxiliar na seleção e especificação dos vidros a aplicar em diferentes cenários, e que, de uma escolha informada e atualizada, seja selecionado o material que maximize o conforto dos seus utilizadores e a eficácia da luz natural, reduzindo o consumo de energia.

ABSTRACT

Glass application in construction has registered, over time, a gradual increase in civil construction, having multiple purposes for windows, guard rails, pavements and others. Technological development and scientific research have contributed to the introduction of new production techniques and use of this material, leaving their utilization at the mercy of the creativity of the architects. One of the objectives of this work is to analyze the evolution of the use of glass as a civil construction material, from its discovery to current time, demonstrating the technologies used in the manufacture, specification and installation.

This material presents a set of mechanical characteristics that, from a structural point of view, offers some limitations to be adequately taken care of, the most relevant being its fragility to overcome large spans. The present dissertation aims to explore these limits, culminating with the realization of a study on the calculation of the thickness of a glass, to be applied on a façade of a dwelling, having four solutions presented for the respective clearance.

Considering, that rule, the characteristics of the glasses to be applied in the works are determined using the opinion of the glassmakers, a comparison was also made in this work between some calculation methods, to determine their thickness, and a solution presented by a glassmaker.

The aim of this dissertation is to assist in the selection and specification of the glasses to be applied in different scenarios and that, with an informed and current selection, the selected material will maximize the comfort of its users and the effectiveness of natural light, reducing consumption power.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| Resumo | iii |
| Abstract | v |
| Índice | vii |
| Índice de figuras | xi |
| Índice de tabelas..... | xiii |
| Lista de acrónimos e simbologia | xv |
| Agradecimentos | xvii |
| | |
| 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... | 1 |
| 1.1. Enquadramento geral | 1 |
| 1.2. Objectivos | 2 |
| 1.3. Estrutura da dissertação | 2 |
| | |
| 2. ESTADO DA ARTE | 5 |
| 2.1. História do vidro | 5 |
| 2.2. Definição | 10 |
| 2.3. Propriedades do vidro..... | 11 |
| 2.3.1. Propriedade química | 11 |
| 2.3.2. Propriedade física | 12 |
| 2.3.3. Propriedade mecânica | 12 |
| 2.3.3.1. Resistência à tração..... | 13 |
| 2.3.3.2. Resistência à compressão | 13 |
| 2.3.3.3. Resistência à flexão | 14 |
| 2.4. Processo de fabrico | 14 |
| 2.5. Tipos de vidro utilizados na construção civil..... | 15 |
| 2.5.1. Vidro simples | 17 |
| 2.5.2. Vidro temperado | 17 |
| 2.5.3. Vidro termoendurecido | 17 |
| 2.5.4. Vidro laminado | 18 |
| 2.5.5. Vidro duplo | 19 |
| 2.5.6. Vidro impresso..... | 20 |
| 2.5.7. Vidro aramado | 21 |
| 2.5.8. Vidro moldado | 22 |
| 2.6. Tipos de acabamento no vidro | 23 |
| 2.7. Armazenamento | 23 |
| 2.8. Corrosão do vidro | 25 |
| 2.9. Sistemas de fixação | 26 |
| 2.9.1. Considerações gerais | 26 |
| 2.9.2. Fixação mecânica..... | 28 |
| 2.9.2.1. Fixação pontual | 28 |
| 2.9.2.2. Suporte linear | 30 |
| 2.9.3. Fixação aderente | 31 |
| | |
| 3. ESPECIFICAÇÕES E REGULAMENTAÇÃO | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Especificações do vidro na construção civil | 33 |
| 3.1.1. Propriedades de espectros | 33 |
| 3.1.1.1. Transmissão da radiação solar | 33 |
| 3.1.1.2. Transmissão luminosa (T_v)..... | 34 |
| 3.1.1.3. Reflexão luminosa (R_v)..... | 34 |
| 3.1.1.4. Fator solar (g_{\perp}) | 35 |
| 3.1.2. Propriedades térmicas | 35 |
| 3.1.2.1. Calor específico (c)..... | 37 |
| 3.1.2.2. Condutividade térmica (λ) | 37 |
| 3.1.2.3. Dilatação linear | 38 |
| 3.1.2.4. Coeficiente de transmissão térmica (U) | 38 |
| 3.1.3. Balanço energético | 39 |
| 3.2. Exigências funcionais, legais e normalização | 40 |
| 3.2.1. Exigências funcionais | 40 |
| 3.2.1.1. Segurança | 40 |
| 3.2.1.2. Segurança contra incêndios..... | 46 |
| 3.2.1.3. Exigências acústicas | 48 |
| 3.2.1.4. Exigências térmicas..... | 50 |
| 3.2.2. Exigências legais..... | 51 |
| 4. APLICAÇÃO DO VIDRO NA CONSTRUÇÃO..... | 53 |
| 4.1. Parâmetros de segurança e conforto | 53 |
| 4.2. Ações diretas | 54 |
| 4.2.1. Peso próprio..... | 54 |
| 4.2.2. Ação do vento | 54 |
| 4.2.3. Ação da neve..... | 56 |
| 4.3. Determinação da espessura | 56 |
| 4.3.1. Norma Francesa (NF P 78-201- 4: 2006) | 56 |
| 4.3.2. Fórmula do LNEC..... | 58 |
| 4.3.3. Cálculo da espessura mínima para pavimento e escadas | 60 |
| 5. CASO PRÁTICO | 63 |
| 5.1. Introdução..... | 63 |
| 5.2. Escolha dos materiais..... | 67 |
| 5.3. Cálculo da pressão do vento | 69 |
| 5.4. Norma Francesa (NF DTU 38)..... | 70 |
| 5.5. Método LNEC | 74 |
| 5.6. Solução apresentada pela Vitrochaves | 79 |
| 5.7. Análise económica e dos resultados obtidos | 83 |
| 5.7.1. Aplicação de diferentes tipos de vidro | 85 |
| 5.8. Discussão dos resultados e decisão final..... | 87 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 89 |
| 6.1. Conclusões | 89 |
| 6.2. Perspectivas futuras..... | 91 |
| REFERÊNCIAS | 93 |

ANEXOS 97

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Galeria d'Orleans do Palais Royale, Paris 1829. (1) | 7 |
| Figura 2 - Palácio de cristal, Londres 1851. (1) | 7 |
| Figura 3 - Habitação construída totalmente em vidro por Carlo Santambrogio. (3)..... | 8 |
| Figura 4 - Loja em vidro da Apple Store. (4) (5) | 9 |
| Figura 5 - Empresa vitrochaves (6) | 9 |
| Figura 6 - Miradouro do Cabo Girão. (7)..... | 10 |
| Figura 7 - Pavimento no Madeira Shopping. | 10 |
| Figura 8 - Fachada em vidro. Santa Cruz..... | 10 |
| Figura 9 - Fachada em vidro. Santa Quitéria..... | 10 |
| Figura 10 - Vidro colorido. | 12 |
| Figura 11 - Tensão x Deformação do vidro e do aço. (11)..... | 13 |
| Figura 12 - Processo de fabrico Float. (12)..... | 14 |
| Figura 13 - Técnica da têmpera. (12) | 16 |
| Figura 14 - Efeito da têmpera no vidro. (12)..... | 16 |
| Figura 15 - (a) Vidro simples (b) Vidro termoendurecido (c) Vidro temperado. (12)..... | 18 |
| Figura 16 - Aplicação do PVB. (6) | 18 |
| Figura 17 - Vidro laminado. (6) | 18 |
| Figura 18 - Processo de fabrico do vidro laminado. (11)..... | 19 |
| Figura 19 - Constituição do vidro duplo. (6)..... | 19 |
| Figura 20 - Fabrico do vidro impresso. (2) | 20 |
| Figura 21 - Vidro impresso. | 21 |
| Figura 22 - Vidro aramado..... | 21 |
| Figura 23 - Telha em vidro. (18)..... | 22 |
| Figura 24 - Bloco em vidro. (15)..... | 23 |
| Figura 25 - Armazenamento do vidro. (6)..... | 24 |
| Figura 26 - Exemplo de corrosão no vidro..... | 25 |
| Figura 27 - Evolução dos sistemas de fixação mais comuns. (12)..... | 27 |
| Figura 28 - Fixações mecânicas mais utilizadas. | 28 |
| Figura 29 - Fixação pontual aparafusada (aranha em aço inoxidável com 4 braços)..... | 29 |
| Figura 30 - Fixação pontual por aperto com atrito baixo (Grampos). (17) (12)..... | 29 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 31 - Fixação pontual por aperto com ligação aderente. (12)..... | 30 |
| Figura 32 - Suporte linear. (9)..... | 31 |
| Figura 33 - Fixação aderente de silicone estrutural. (11)..... | 32 |
| Figura 34 - Vidros que respeitam a segurança. (9)..... | 41 |
| Figura 35 - Ensaio da resistência do vidro ao impacto segundo a EN12600. (23) (24)..... | 42 |
| Figura 36 - Níveis de solicitação térmica. (26)..... | 46 |
| Figura 37 - Exemplo de uma etiqueta empregue num vidro. (6)..... | 51 |
| Figura 38 - Critérios a ter em conta numa obra..... | 53 |
| Figura 39 - Pavimento em vidro e seu suporte. (9)..... | 61 |
| Figura 40 - Concelho de Melgaço..... | 63 |
| Figura 41 - Alçado poente (Em anexo página 119)..... | 64 |
| Figura 42 - Alçado norte (Em anexo página 119)..... | 64 |
| Figura 43 - Corte do alçado frontal (Em anexo página 119)..... | 64 |
| Figura 44 - Corte do alçado norte (Em anexo página 119)..... | 65 |
| Figura 45 - Planta rés-do-chão cotada (Em anexo página 119)..... | 65 |
| Figura 46 - Corte do painel..... | 67 |
| Figura 47 - Exemplo da caixilharia, fachada semi-oculta.(Em anexo página 107)..... | 68 |
| Figura 48 - Resultado final..... | 88 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Composição do vidro. (2)..... | 11 |
| Tabela 2 - Propriedades físicas do vidro. (2)..... | 12 |
| Tabela 3 - Diferenças consoante o tipo de enchimento e espessura no vidro duplo. (6)..... | 20 |
| Tabela 4 - Valor da temperatura. (10)..... | 36 |
| Tabela 5 - Amplitude térmica admissível no vidro. (12) | 37 |
| Tabela 6 - Valor do coeficiente de transmissão térmica, para vários tipos de vidro. (6) | 39 |
| Tabela 7 - Valor de graus dias. (9)..... | 40 |
| Tabela 8 - Classificação do ensaio segundo a EN12600. (23) | 42 |
| Tabela 9 - Classificação de resistência contra ao vandalismo e intrusão. (9) | 44 |
| Tabela 10 - Classificação da resistência segundo a EN 13541. (25)..... | 45 |
| Tabela 11 - Classificação de acordo com as especificações do LNEC e do sistema europeu. (27)..... | 47 |
| Tabela 12 - Temperatura atingida numa simulação de um incêndio. (9)..... | 47 |
| Tabela 13 - Classes de redução sonora a ruídos de tráfego. (9)..... | 49 |
| Tabela 14 - Vidros da Vitrochaves e seus índices de redução acústica. (6)..... | 49 |
| Tabela 15 - Espessura nominal mínima admissível para o vidro simples. (14) | 59 |
| Tabela 16 - Proposta apresentada para a caixilharia. | 68 |
| Tabela 17 - Proposta para a solução A apresentada pela Vitrochaves. | 81 |
| Tabela 18 - Proposta para a solução B apresentada pela Vitrochaves. | 82 |
| Tabela 19 - Valores adicionais ao vidro..... | 83 |
| Tabela 20 - Análise de cada método apresentado. | 83 |
| Tabela 21 - Análise económica de cada solução..... | 84 |
| Tabela 22 - Valor associado aos diferentes tipos de vidro..... | 85 |
| Tabela 23 - Comparação entre vidro escolhido e o vidro colorido. | 86 |

LISTA DE ACRÓNIMOS E SIMBOLOGIA

Acrónimos

CEN – Comité Europeu de Normalização

CE – Conformidade Europeia

CERAL – Organismo de Certificação dos Vidros de Isolamento

CERTIF – Serviço de certificado

EEE – Espaço Económico Europeu

EN – Norma Europeia

EPDM – Borracha Etileno-Propileno-Dieno

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NF – Norma Francesa

PMMA – Polimetilmetacrilato

RSA – Regulamento de Segurança e Ações Para Estruturas de Edifícios e Pontes

SSGS – Selante Estrutural de Sistemas de Vidros

Simbologia

Letras minúsculas

a – lado maior do edifício em planta

b – lado menor do edifício em planta

c – calor específico

e – espessura nominal do vidro (mm)

e_1 – espessura do vidro (mm)

e_f – espessura comercial (mm)

e_m – espessura mínima (mm)

e_n – espessura nominal do pavimento (mm)

e_r – espessura resistente (mm)

f – flecha

g_{\perp} – fator solar

h – altura do edifício

l – comprimento menor

n – número de componentes do vidro laminado
pH – potencial hidrogeniônico
p – $p=q+g$, carga repartida uniformemente (Pa)
pp – peso próprio
p – coeficiente de forma de pressão

Letras maiúsculas

C – calor específico
E – módulo de elasticidade (GPa)
F – coeficiente de forma
H – altura do edifício
I – intensidade sonora
L – lado maior
PVB – polivinil butiral, resina
R – índice de redução sonora
TNT – trinitrotolilueno, explosivo
 T_v – transmissão luminosa
U – coeficiente de transmissão térmica
 W_k – pressão dinâmica do vento

Letras Gregas

α – coeficiente de Timoshenko
 Δ_t – variação de temperatura
 Δ_l – dilatação linear
 ε – fator de redução
 λ – condutividade térmica
 v – velocidade característica

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação representa o culminar de uma importante etapa da minha vida e o princípio de outra. Gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma tornaram possível a concretização do presente trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Lino Maia, pela atenção e pela disponibilidade na orientação desta dissertação.

À minha família, em especial aos meus pais, por me terem proporcionado a minha formação académica.

Ao meu irmão, Ruben Gonçalo, pela sua ajuda, dedicação e disponibilidade em me ajudar ao longo desta etapa.

Ao Pedro, pelo seu apoio incondicional ao longo destes anos, paciência e pelas palavras de motivação nos momentos mais difíceis.

Por fim, aos meus amigos e colegas da UMa pela amizade, apoio e boa disposição ao longo destes longos anos.

A todos, o meu profundo obrigado.

1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

A antiguidade significativa deste material torna imprecisa a sua história e incerto o início da sua produção, sendo contudo de salientar a sua crescente aplicação ao longo do tempo e os vários processos e técnicas de fabrico que atravessou, desde a do sopro até ao procedimento mais utilizado atualmente, o Float.

Tradicionalmente utilizado na construção de edifícios, sobretudo em janelas, o vidro é atualmente aplicado em múltiplas situações, outrora impensáveis, sendo cada vez mais frequente o seu uso. No ramo da Engenharia Civil tem vindo gradualmente a se tornar num material imprescindível, sendo facilmente identificável no nosso quotidiano.

Este óxido metálico testemunhou um período de evolução tanto na engenharia como na arquitetura, que permitiu impulsionar a sua aplicação em fachadas arrojadas de grandes dimensões, onde o uso de caixilharia é substituído por outro sistema de suporte mais discreto, em barreiras de proteção, escadas e mais recentemente como elemento estrutural, tal como vigas e pilares, embora estes últimos ainda em fase de estudos. Face aos elevados padrões atuais nos projetos de arquitetura, é cada vez mais imperioso determinar novas formas de aplicação deste material.

Não obstante o vidro ser usualmente associado a um material frágil, tal não significa que seja débil ou pouco resistente, uma vez que possui boas propriedades mecânicas, conseguindo obter um comportamento próximo ao perfeitamente elástico, onde a sua tensão e deformação aumentam de forma constante até atingir o limite máximo. Existem no entanto, limitações nas suas propriedades mecânicas, nomeadamente a sua baixa resistência à tração facto que, a dada altura, determinou a sua retirada em aplicações de carácter mais exigente, problema que tem vindo a ser colmatado pela utilização do vidro laminado.

Numa sociedade cada vez mais consciencializada para as questões ambientais e económicas, o setor da construção debate-se com a problemática do elevado consumo de energia em todas as fases de processamento, operação, reabilitação/manutenção e demolição. É neste contexto, que a aplicação do vidro emerge como uma solução alternativa para o aperfeiçoamento dos projetos de arquitetura, nomeadamente pela potencialização das suas virtudes como a leveza, transparência e luminosidade que permitem um aproveitamento da luz natural e conseqüentemente uma redução dos gastos energéticos e rentabilização dos recursos disponíveis.

Pese embora o seu potencial, atualmente continua a ser um desafio projetar estruturas com amplas áreas envidraçadas, dada a escassez de informação sobre a utilização deste material na área da engenharia. É esta insuficiência que serve de motivação à presente dissertação, que procura elucidar o seu trajeto como material de construção e especificar a melhor

1.2. OBJECTIVOS

A presente dissertação tem como primeiro objetivo compreender o vidro como matéria-prima na construção civil, o seu comportamento e a sua aplicação, auxiliando deste modo, os *stakeholders* com uma escolha informada optando pelo material que se adequa às várias utilizações.

Quando necessária a aplicação deste material numa construção, o papel do engenheiro civil, regra geral, resume-se a indicar às vidreiras as respetivas dimensões e informar o seu destino, cabendo a estas determinar a espessura e especificar o tipo de vidro a aplicar em cada situação. Esta dissertação pretende apresentar o trabalho feito nas vidreiras e quais as normas pelas quais se regem.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação obedece a uma divisão em seis capítulos, onde se inclui a presente introdução que apresenta o enquadramento geral e os objetivos subjacentes à realização deste estudo.

No segundo capítulo será efetuado um enquadramento teórico sobre o material, onde será dada a conhecer um pouco da sua vasta história, as suas propriedades, processo de fabrico para a realização do vidro plano, incluindo os vários tipos de vidro na construção civil, aliado à evolução das novas técnicas que proporcionam a possibilidade de realizar grandes fachadas ou pavimentos, feitos na sua totalidade com esse material.

Já no terceiro capítulo, são indicadas especificações e toda a regulamentação alusiva as exigências que este material remete. Será abordado apenas os parâmetros de maior interesse para a construção civil, desde as propriedades de aspetos às exigências funcionais, legais e toda a normalização.

A aplicação do vidro na construção civil será abordada no quarto capítulo onde se insere as fórmulas utilizadas para o cálculo da espessura do vidro e, seguidamente, no quinto capítulo será exposta a componente prática desta dissertação.

O último capítulo apresenta as notas finais, principais conclusões obtidas, perspectivas futuras de pesquisa e desenvolvimento para investigações relacionadas com o tema.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. HISTÓRIA DO VIDRO

Este capítulo preambular visa apresentar, de forma genérica, o material objeto de estudo desta dissertação, o vidro (adiante também designado por “material” ou “óxido metálico”) e a sua aplicação na indústria da construção.

Este material fascinante permite domar a luz natural (e artificial), fonte de vida e bem-estar, gerindo-a de acordo com a vontade e a imaginação humana, sendo muitas vezes a barreira que separa o nosso olhar do mundo exterior. Apesar de sustentar o estatuto de um dos materiais tradicionais de construção, atualmente é sinónimo de modernidade e requinte, fruto da sua adaptação a novas funções em resposta às crescentes exigências arquitetónicas. Graças à sua grande versatilidade, trata-se de um elemento comum aplicado em praticamente todos os edifícios.

A história do vidro não é tão clara quanto a sua transparência, sendo incerta não só a sua origem debatida entre diversas teorias de diferentes historiadores, como também o início da sua produção, visto ser um material com milhares de anos. No entanto, estudos arqueológicos apontam para a descoberta dos túmulos dos faraós, onde foram encontradas esferas de vidro. Foi então estabelecido um consenso sobre a sua existência, que remonta por volta dos 4 mil anos antes da era cristã.

A partir de 1 550 A.C. até a era cristã, foi o Egipto que liderou a indústria do vidro, conservando assim uma posição primordial na história. Com a introdução do material em Roma, o seu desenvolvimento foi reconhecido, junto com o aparecimento de inovadoras técnicas, como a técnica do sopro.

A técnica citada no parágrafo anterior consiste em colher uma pequena proporção de vidro, com a ponta de um tubo, e soprar pela outra extremidade de modo a criar uma bolha no seu interior, que consiste numa massa viscosa. Esta arte permitiu que se iniciasse a produção de embalagens e garrafas,

sendo tão essencial que nos dias de hoje ainda é utilizada para moldar embalagens, mesmo nas mais modernas maquinarias.

Foi assim, no século I A.C., que os romanos, com a sua técnica de sopro dentro de moldes, impulsionaram a produção em série do vidro.

Mais tarde, entre 500 e 600 d.C., surgiu outro importante método de execução que possibilitou a realização de vidro plano. À semelhança do sopro, esta técnica desencadeia-se a partir de gotas colhidas na ponta de tubos, sendo, após o sopro, feito o corte no fundo da bolha, ação que deixa o vidro preso no tubo apenas pela extremidade que os une, permitindo a sua rotação no forno e consequente produção de um disco de vidro plano, utilizado para as vidraças e vitrais.

Entre outros processos de fabrico desenvolvidos ao longo do tempo, onde, se procurava aperfeiçoar a técnica, surgiu o processo Float, que a partir da década de 50 possibilitou e estimulou a produção de vidro plano a baixo custo.

No século XVIII, surgiu a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre este material, tendo Lomonosov conduzido a primeira pesquisa científica, pela qual foram realizados os primeiros ensaios sobre a sua composição. Esta pesquisa primária inclui os trabalhos de Griffiths em 1827, que nos elucidou sobre a dissolução do vidro na água e de Michael Faradas que compilou várias obras sobre a tecnologia do vidro. Mais tarde, Otto Schott, Willia, ESTurner, FW Preston e George W. Morey, contribuíram para a ciência e tecnologia do vidro, sendo a partir de 1945 que se começa a desenvolver um número elevado de publicações sobre esse material, assumindo a China um papel de relevo na investigação desta área.

As obras com maior destaque surgiram por altura da revolução industrial, as quais já combinavam o vidro com o ferro e revolucionaram a arquitetura moderna. A primeira grande obra nasceu em 1829, pelas mãos do arquiteto Pierre François Leonard Fontaine, que juntou então os dois materiais, o ferro e o vidro, na realização de uma cobertura, a galeria d'Orleans do Palais Royale de Paris (Figura 1). Esta construção foi posteriormente demolida, dando lugar às colunas de Buren desde 1986.



Figura 1 - Galeria d'Orleans do Palais Royale, Paris 1829. (1)

Alguns anos mais tarde, mais precisamente em 1851, foi construído em Londres o palácio de cristal (Figura 2), projeto onde o paisagista Joseph Paxton foi nomeado responsável. Visto como um projeto arrojado para a época, envolveu mais de 3 mil colunas de ferro, que suportavam 300 mil placas de vidro encaixadas nas suas estruturas metálicas. Nesta obra foram soprados artesanalmente 68 mil cilindros para o fabrico das placas de vidro de 25 cm x 1,25 m, com espessura de 2 mm.

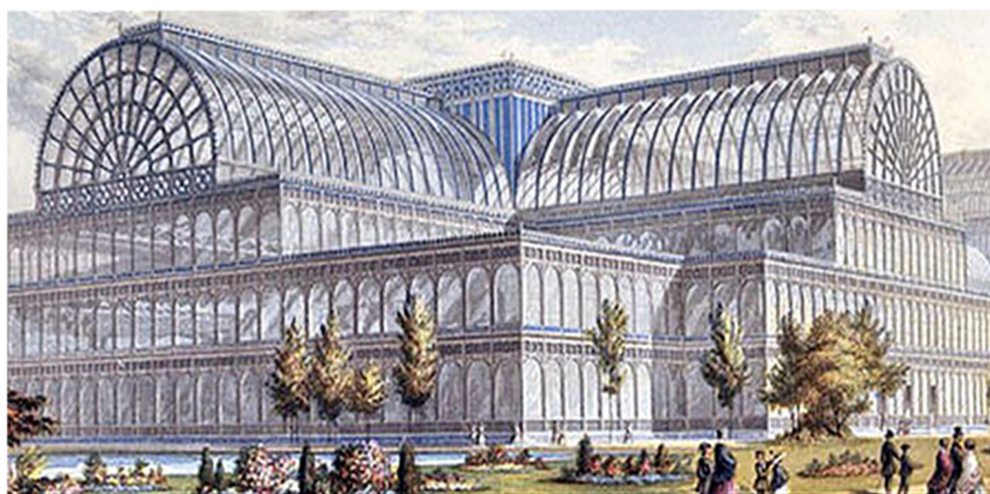


Figura 2 - Palácio de cristal, Londres 1851. (1)

Os exemplos anteriores denotam traços intemporais, sendo nos dias de hoje ainda muito apreciados e utilizados.

Atualmente, o vidro é visto como um material inovador, cada vez mais requisitado nas áreas da arquitetura e da engenharia. Suas características singulares alimentam a imaginação dos arquitetos e engenheiros, conferindo a oportunidade de erguer edifícios transparentes, amplos e com uma relação entre a humanidade, espaço, luz e a natureza. (2)

Este material tem registado uma evolução assinalável diante a tecnologia, fruto dos progressos técnicos e conhecimentos ao nível da física e da química do vidro, levando a que muitos países iniciassem projetos de investigação de modo a regulamentar o seu uso.

Apesar do progresso científico e prático, a utilização do vidro como elemento estrutural ainda está em estudo. Na Europa, concretamente em países como a Alemanha, França e alguns países nórdicos, existe já alguma regulamentação para o emprego do vidro estrutural. Em Portugal há pouca informação sobre essa matéria, sendo necessário pesquisar e recorrer a regulamentos estrangeiros.

Um dos casos de estudo arrojado e ambicioso que revolucionou o mundo da arquitetura e engenharia é o caso de uma propriedade rural (Figura 3), próxima de Milão, construída totalmente em vidro. É a primeira habitação projetada pelo arquiteto Carlo Santambrogio, que após o sucesso dessa construção, pretende erguer mais edifícios nos próximos anos. Construída maioritariamente por vidro temperado, apresenta uma tonalidade azulada com uma espessura de 30 mm e transparência de quase 100%.



Figura 3 - Habitação construída totalmente em vidro por Carlo Santambrogio. (3)

Outro caso peculiar, é o famoso cubo de vidro da Apple Store em Nova Iorque (Figura 4), uma estrutura com dez metros de altura, onde é utilizado o novo sistema de fixação, denominado Seamless (sem emendas), que favorece o seu impacto visual. Para além do magnífico cubo, no seu interior existe ainda uma escada helicoidal formada por vários painéis de vidro temperado, fixados a um núcleo cilíndrico, como demonstra a figura seguinte.

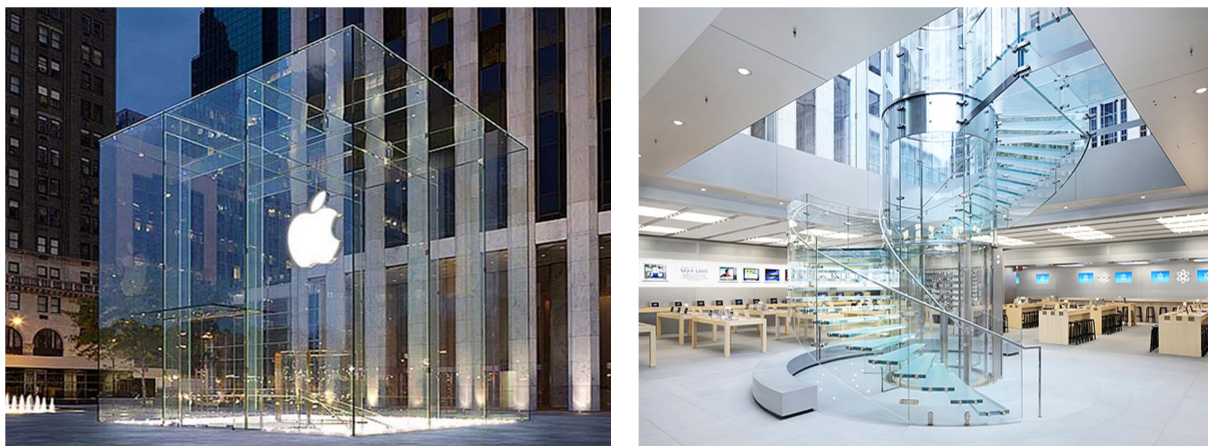


Figura 4 - Loja em vidro da Apple Store. (4) (5)

Em Portugal, a indústria do vidro não tem uma data precisa, tendo os primeiros vidreiros surgido no século XV, com uma pequena fábrica fundada no concelho de Oliveira de Azeméis. Mais tarde, D. João V, também mostrando interesse na indústria vidreira, fundou uma fábrica no sul de Lisboa. O maior marco na indústria nacional, surgiu com Marquês de Pombal, que recrutou para o fabrico deste material os melhores mestres que laboravam em Inglaterra, tendo, desde então, a indústria vidreira em Portugal continuado a crescer em toda a sua extensão territorial, existindo atualmente algumas conceituadas vidreiras em Portugal, tais como a VIT (Vidreira Ideal do Fundão), a Saint- Gobain e a Vitrochaves (Figura 5), estas duas últimas conhecidas pela especialidade no fabrico de vidro exterior agrafado. (1;5;6;7;8;9;10)



Figura 5 - Empresa vitrochaves (6)

Na Região Autónoma da Madeira, atualmente é possível verificar fachadas arrojadas, barreiras de proteção, coberturas ou pavimentos totalmente em vidro. Um dos exemplos a considerar é o miradouro

do Cabo Girão, composto por um paramento horizontal e vertical, ou seja, por um piso em vidro e por uma barreira de proteção, como demonstra a Figura 6. Outra construção que demonstra a utilização criativa deste material é o pavimento na entrada do Madeira Shopping (Figura 7). Salienta-se ainda a existência de dois edifícios cujas fachadas são compostas por esse material, que conjuga perfis metálicos (Figura 8 e Figura 9).



Figura 6 - Miradouro do Cabo Girão. (7)



Figura 7 - Pavimento no Madeira Shopping.



Figura 8 - Fachada em vidro. Santa Cruz.



Figura 9 - Fachada em vidro. Santa Quitéria.

2.2. DEFINIÇÃO

Classificado como um material inorgânico, homogéneo e amorfo, o vidro é obtido através do arrefecimento de uma massa em fusão que endurece pelo aumento de viscosidade até atingir a condição de rigidez, mas sem sofrer cristalização. (8)

O vidro distingue-se dos outros materiais por ser ótimo isolador e não ser poroso nem absorvente, e possui uma elevada condutividade térmica. As suas principais qualidades passam pela sua transparência e solidez.

2.3. PROPRIEDADES DO VIDRO

2.3.1. PROPRIEDADE QUÍMICA

A estrutura do vidro está condicionada pela sua composição química muito diversificada e, em menor escala, também pela componente térmica. A Tabela 1 evidencia, em percentagem, a sua principal composição química.

Tabela 1 - Composição do vidro. (2)

| Composição do vidro | |
|---|-----------|
| <i>SiO₂</i> (Sílica) | 69% - 74% |
| <i>CaO</i> (Cálcio) | 5% - 12% |
| <i>Na₂O</i> (Sódio) | 12% - 16% |
| <i>MgO</i> (Magnésio) | 0% - 6% |
| <i>Al₂O₃</i> (Alumina) | 0% - 3% |

A sílica apresenta-se como principal componente do vidro, matéria-prima básica (areia siliciosa) com ação vitrificante. As variações da concentração dos componentes podem provocar algumas mudanças estruturais no vidro, como por exemplo, aumentar a resistência mecânica, utilizando uma maior quantidade de alumina. Já o cálcio favorece a devitrificação, conferindo estabilidade contra ataques de agentes atmosféricos. Quando se diminui ou aumentamos um óxido, para favorecer a propriedade pretendida, os restantes devem de igual modo aumentar ou diminuir, para que no final corresponda a uma soma de todos os óxidos equivalente a 100%.

Uma característica interessante é a possibilidade de apresentar este material com uma multiplicidade de cores, desde o puro incolor até às mais diversas cores opacas ou apenas de leve tonalidade. Esta técnica de coloração, aplicada normalmente em peças artísticas e decorativas, é criada mediante a incorporação de aditivos, a título exemplificativo, ao adicionar o selénio obtemos a cor avermelhada, o óxido de ferro a cor verde e o cobalto a cor azul (Figura 10).

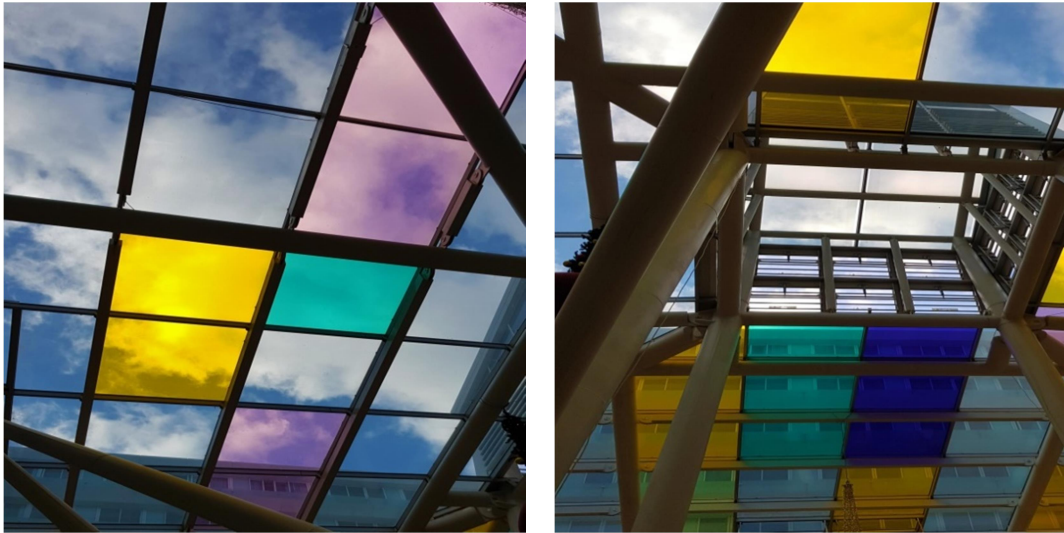


Figura 10 - Vidro colorido.

2.3.2. PROPRIEDADE FÍSICA

O vidro tem como principais propriedades a transparência e a durabilidade, podendo ser adicionadas outras características, de acordo com o uso que irá ser dado ao material. As propriedades físicas diferem devido aos vários modificadores que são introduzidos, deste modo existem vários tipos de vidro consoante o uso pretendido. A Tabela 2 mostra as principais propriedades significantes.

Tabela 2 - Propriedades físicas do vidro. (2)

| Propriedades | Símbolo | Valor e unidades |
|---------------------------|-----------|-----------------------------------|
| Massa volúmica a 18°C | ρ | 2500 kg/m ³ |
| Dureza | | 6,5 Em escala Mohs |
| Módulo de elasticidade | E | 70 GPa |
| Coefficiente de Poisson | ν | 0,2 |
| Coefficiente de dilatação | α | $9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ |
| Condutibilidade térmica | λ | 1 w/(mK) |

2.3.3. PROPRIEDADE MECÂNICA

Propriedade essencial, que demonstra o comportamento do vidro à resistência à tração, compressão e flexão, características abordadas de seguida com maior detalhe. (9)

2.3.3.1. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

O vidro, normalmente, é fraturado por tração, cuja rotura tem origem num ponto da superfície. A resistência à tração deste material varia entre 30 a 70 MPa, dependendo do tipo de componentes empregues na sua composição, das suas proporções, temperatura, humidade, estado da superfície, corte e duração de uma carga permanente.

Quando submetido a uma carga crescente, ou seja, num ensaio à tração, torna-se evidente a fragilidade deste material quando comparado ao aço. Ao atingir o seu limite elástico, ocorre a rotura, sem qualquer aviso prévio, sendo que o seu limite elástico é semelhante ao valor do limite de rotura. Em termos comparativos com o aço, o vidro não possui a capacidade de se deformar plasticamente quando ultrapassa a tensão de cedência, fraturando quando excede essa tensão, como evidencia a figura seguinte. (10) (11)

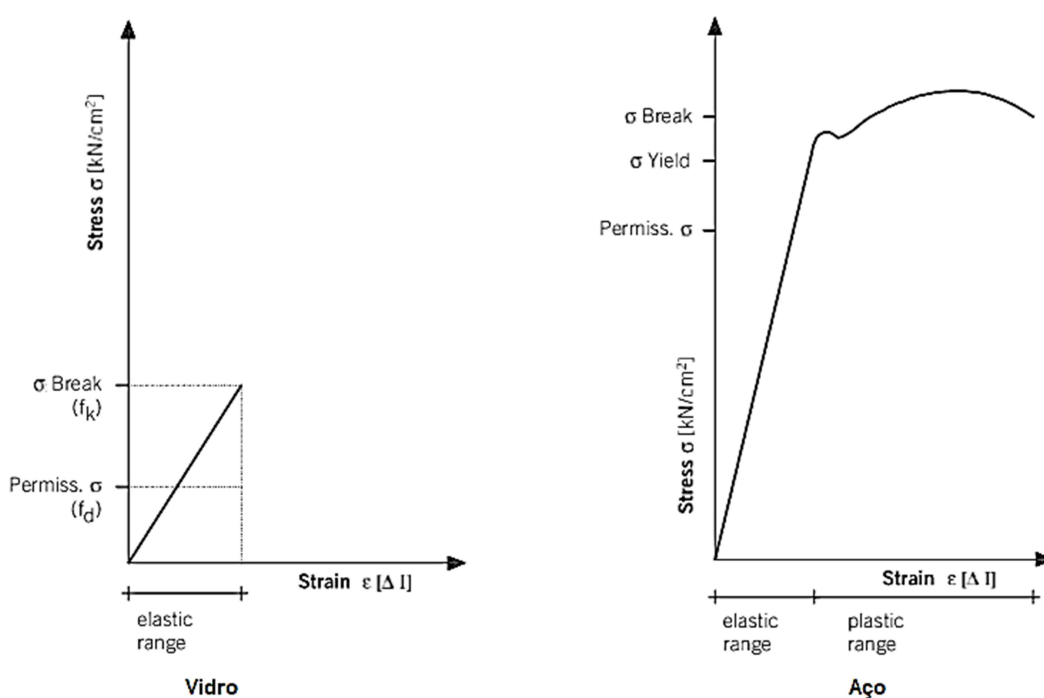


Figura 11 - Tensão x Deformação do vidro e do aço. (11)

2.3.3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

À semelhança do betão, o vidro é conhecido por ter uma elevada resistência à compressão, a qual pode atingir os 1000 MPa, ou seja, para partir um cubo de vidro de 1 cm de lado, é necessária uma carga de 10 toneladas. (10)

2.3.3.3. RESISTÊNCIA À FLEXÃO

O vidro encontra-se em flexão quando fica sujeito a uma face em compressão e outra à tração. Esta resistência é da ordem dos 40 MPa para o vidro recozido, e de 120 a 200 MPa para o vidro temperado. Esta última tipologia é mais resistente à flexão pelo facto de ser submetido a um tratamento térmico que torna as suas faces mais resistentes. (10)

2.4. PROCESSO DE FABRICO

Ao longo do tempo, os processos de fabrico do vidro têm vindo a evoluir, existindo atualmente uma diversidade de procedimentos a adotar. Contudo, foi nos anos 50, em Inglaterra, que Pilkington introduziu uma tecnologia que veio aperfeiçoar a maneira como esse material era produzido, conhecida como o processo Float, a qual tornou-se, desde então, a mais utilizada, representando mais de 90% da produção do vidro plano, utilizado com frequência na construção de janelas, fachadas, espelhos, coberturas, pavimentos, etc. Este processo tem como principal vantagem a sua produção em grande escala, com boa qualidade ótica e com custos mais reduzidos.

O esquema de produção implementado (processo Float) encontra-se representado na figura abaixo.

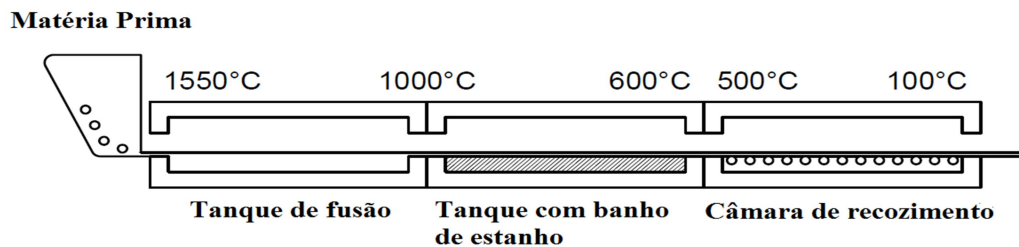


Figura 12 - Processo de fabrico Float. (12)

Esta técnica tem vindo a evoluir com o avançar da industrialização, sendo o transporte de toda a matéria-prima associada, a sua pesagem e o enformamento concretizados, atualmente, de forma automática.

Numa fase inicial, a mistura é humedecida para que não haja segregação de grãos e a libertação de poeiras, sendo no tanque de fusão, como o próprio nome indica, que as matérias-primas são fundidas a elevadas temperaturas, que podem rondar os 1550 °C. A mistura resultante, passa então para uma zona de menor temperatura, de aproximadamente 1000 °C, onde o líquido é transportado e depositado numa segunda secção, o tanque com banho de estanho. Pelo facto do estanho ser mais denso que o vidro, este último flutua formando uma chapa com uma espessura que pode variar entre os 6 a 7 mm. Esta

espessura pode ser controlada, aumentando ou diminuindo a velocidade dos dispositivos que a estendem.

Assim que atinja temperaturas na ordem dos 600 °C, o vidro é transportado para a terceira secção deste processo, a câmara de recozimento, onde, já numa forma mais sólida e consistente, é conduzido sobre um conjunto de rolos, arrefecendo lentamente até os 100 °C. É nesta fase de fabrico, na saída da câmara, que obtemos a forma comum do vidro, denominado por vidro simples recozido, a partir do qual podemos trabalhar termicamente para obter os diferentes tipos de vidro.

Posteriormente, o resfriamento é feito de forma gradual ao ar livre, passando por um processo lento, que permitirá libertar todas as tensões que possam existir, reduzindo assim a probabilidade de quebra no momento do seu corte. Previamente ao acabamento final, é executada uma inspeção automática, através de equipamento próprio, de modo a identificar eventuais patologias. Por fim, o vidro passa por um processo de lavagem, por forma a ser recortado nas dimensões desejadas. (9)

2.5. TIPOS DE VIDRO UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Conforme já frisado ao longo da dissertação, este material tem registado uma crescente utilização na construção moderna, pela sua multifuncionalidade e características estéticas. Grande parte dos materiais de construção aplicados em obra são pré-fabricados, o vidro não é exceção, sendo entregue e aplicado no local, regra geral, fixado individualmente a uma construção de suporte.

Entende-se por produto base o vidro obtido à saída do forno, o qual poderá ser transformado pela alteração das suas propriedades (produto transformado), como observamos no processo de fabrico. Poderão ou não, seguir-se novas etapas visando a obtenção de características próprias, em função do destino a ser dado ao material.

Na construção civil, o vidro mais utilizado é obtido pelo processo de Float, podendo ser simples recozido ou monolítico. Já os restantes produtos bases têm uma utilidade mais restrita e específica, tal como o vidro impresso, aramado ou moldado (bloco de vidro e telha). Estes produtos base podem ser transformados em vidro laminado, vidro temperado, vidro duplo entre outros.

Para além dos processos mecânicos a que o vidro está sujeito (corte, furação, tratamento de arestas e polimento), existem os tratamentos térmicos, que aumentam a sua resistência. É através de um tratamento térmico, designado por têmpera, que resulta o vidro temperado termicamente, o temperado quimicamente e o termoendurecido.

A técnica de têmpera (Figura 13) altera as características mecânicas do vidro, a qual consiste no seu aquecimento a uma temperatura entre os 600 a 650 °C até tornar-se novamente flexível, seguindo-se um arrefecimento súbito, que permitirá obter o vidro temperado termicamente.

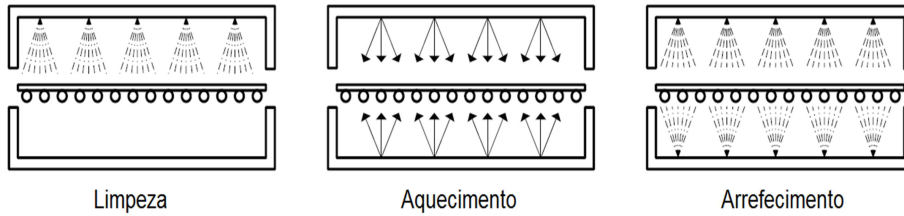


Figura 13 - Técnica da têmpera. (12)

A mudança brusca de temperatura gera um estado de tensão interno, onde é natural que as fibras superficiais arrefeçam mais rápido que as fibras interiores, gerando assim tensões de compressão à superfície e de tração no interior (Figura 14).

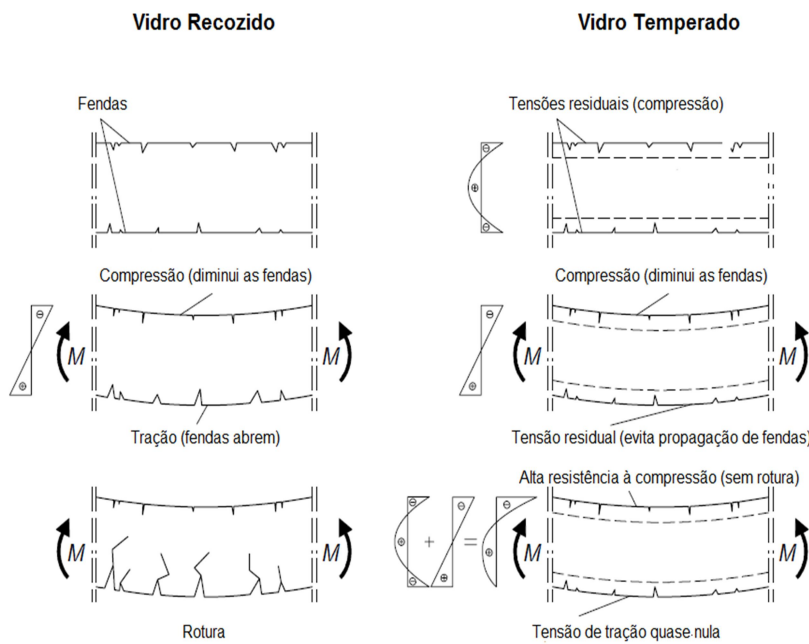


Figura 14 - Efeito da têmpera no vidro. (12)

Para além do aumento da resistência mecânica, este método da têmpera influencia outra propriedade de igual modo importante, a resistência ao choque térmico. (13) (14) (15)

2.5.1. VIDRO SIMPLES

O vidro simples recozido (obtido através do processo Float), é um vidro de forma plana que não segue nenhum tratamento, cuja tensão de rotura é de 41 MPa, podendo ocorrer fraturas para diferenças de temperatura com cerca de 30 °C. Após o seu fabrico, a chapa de vidro recozido pode ser transformada em novos tipos, com varias formas, de modo a complementar algumas características em função da futura aplicação. (14)

2.5.2. VIDRO TEMPERADO

Como visto anteriormente, é pelo processo da têmpera que resulta o vidro temperado. Pela norma EN 12150 a tensão de rotura deste é de 125 MPa, resistindo a diferenças de temperatura de 200 °C. Comparado ao vidro simples (vidro base), o temperado oferece maior resistência mecânica, sendo uma vantagem no campo da engenharia. Para além dessa característica, é um material que prima pela segurança, uma vez que, quando quebrado, os fragmentos daí resultantes são de pequena dimensão e não cortantes. (14)

2.5.3. VIDRO TERMOENDURECIDO

Os vidros termoendurecidos, cuja sua principal propriedade é a elevada resistência ao choque térmico, são constituídos de forma idêntica ao temperado mas com um arrefecimento mais lento. Por esse esfriamento, as tensões de compressão que ficam à superfície são menores (30 a 60 MPa), reduzindo consequentemente as tensões de rotura. O padrão de fratura do vidro termoendurecido como podemos ver na Figura 15 tem os seus fragmentos pequenos e cortantes, tornando-o inseguro. (14)

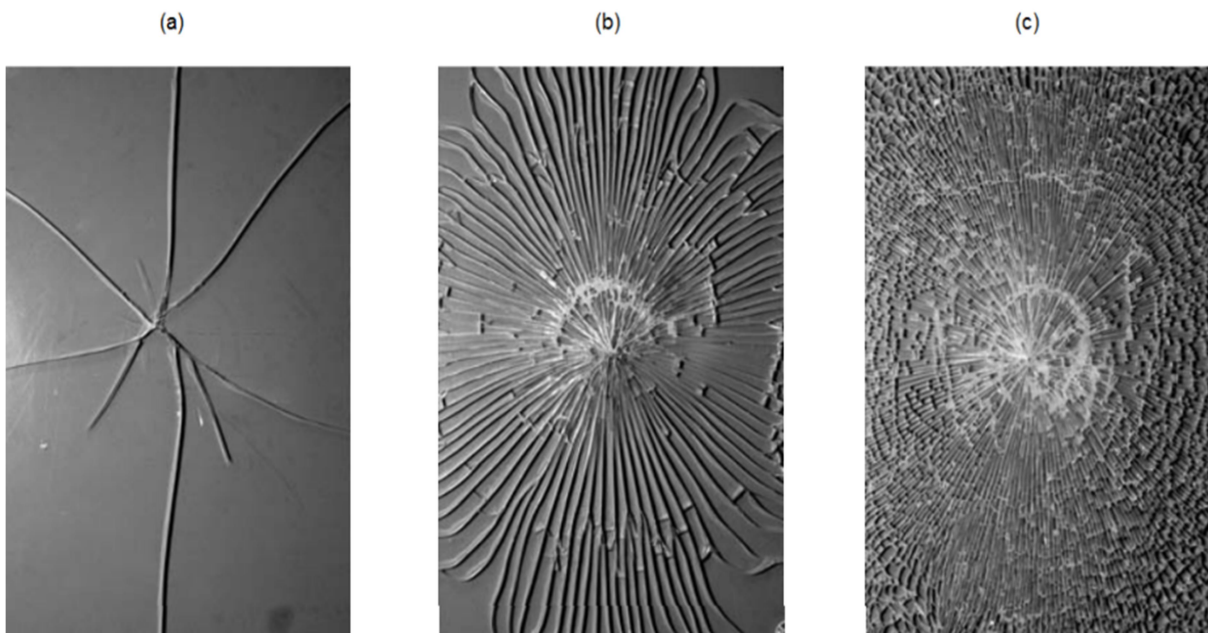


Figura 15 - (a) Vidro simples (b) Vidro termoendurecido (c) Vidro temperado. (12)

2.5.4. VIDRO LAMINADO

O vidro laminado é constituído por duas ou mais folhas de vidro, onde é interligado por uma camada de PVB, resina ou gel, sob a forma de calor ou pressão (Figura 16 e Figura 17). Este é considerado um vidro de segurança por ser mais resistente na pós-fratura, tendo a capacidade de os seus fragmentos permanecem colados na camada de ligação, impedindo assim a queda de estilhaços.



Figura 16 - Aplicação do PVB. (6)



Figura 17 - Vidro laminado. (6)

O processo de fabrico de um vidro base para o vidro laminado materializa-se mediante a colocação de película, normalmente de PVB, entre as lâminas de vidro já preparadas, posicionadas numa estufa. Segue-se depois a sua fusão concretizada por um processo de aquecimento e compressão, eliminando

assim o ar existente entre as chapas. Após este processo, o vidro é autoclavado, a uma temperatura a 140 °C, que garante a aderência final entre o vidro e a película (Figura 18).

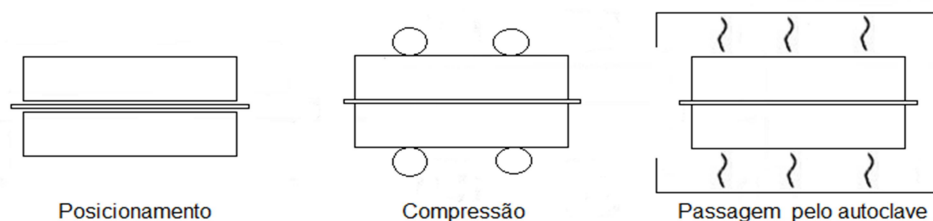


Figura 18 - Processo de fabrico do vidro laminado. (11)

Este tipo de vidro tem várias funções, garante segurança contra incêndios, armas de fogo, arrombamento etc.. Na construção civil é aplicado normalmente nas cabines de duche, janelas, coberturas, pavimentos, fachadas, entre outros. (14)

2.5.5. VIDRO DUPLO

O vidro duplo ou vidro isolante é constituído, pelo menos, por duas chapas de vidro (temperado, laminado, refletido ou impresso) separadas por um espaço de ar (ou outro gás) selado, garantindo um ótimo isolamento térmico (Figura 19). Destina-se, fundamentalmente, a janelas, fachadas, portas, coberturas etc.

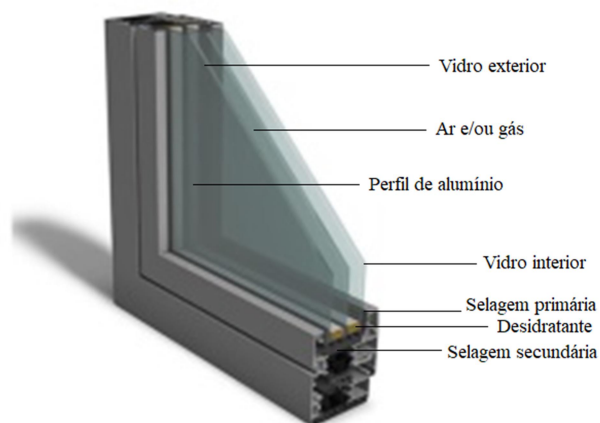


Figura 19 - Constituição do vidro duplo. (6)

Para a selagem do espaço de ar é introduzido um perfil de alumínio que define a distância entre as chapas de vidro (normalmente de 8 e 20 mm de largura), constituído por selagens (interiores e exteriores) para limitar a penetração de humidade e vapor de água, é instalado um desidratante destinado a absorver a humidade que poderá se infiltrar. Os vidros são designados a partir dos

elementos do exterior para o interior, por exemplo, “6-16-4”, significando que o vidro exterior tem 6 mm, cavidade de 16 mm e vidro interior de 4 mm. Este tipo de vidro é orientado pela norma NP EN 1279, com informação de vários aspetos de fabrico, como a durabilidade da selagem do vidro indicada na certificação. Além disso, devem ser respeitadas a montagem, transporte e correto manuseamento para assegurar a durabilidade do vidro em obra. (14)

O enchimento com gases nobres, tal como o árgon, permite melhorar alguns aspetos, nomeadamente o isolamento térmico, tal como demonstrado na Tabela 3. (6)

Tabela 3 - Diferenças consoante o tipo de enchimento e espessura no vidro duplo. (6)

| Vidro duplo simples incolor | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-------|----------------------------|-------|
| Dimensões (mm) | Vidro duplo (4-10-4) | | Vidro triplo (4-10-4-10-4) | |
| Preenchimento da cavidade | Ar | Argon | Ar | Argon |
| Valor de U | 3,0 | 2,8 | 2,0 | 1,8 |

2.5.6. VIDRO IMPRESSO

O vidro impresso, conhecido também como vidro fantasia, resulta da saída do vidro do forno e passagem pelos rolos de impressão, que determinam a espessura do vidro e a gravação da textura desejada. A resistência mecânica deste vidro aumenta se for submetido à têmpera, podendo também ser utilizado a laminação. Após a impressão este é recozido, arrefecimento e cortado (Figura 20). (10)

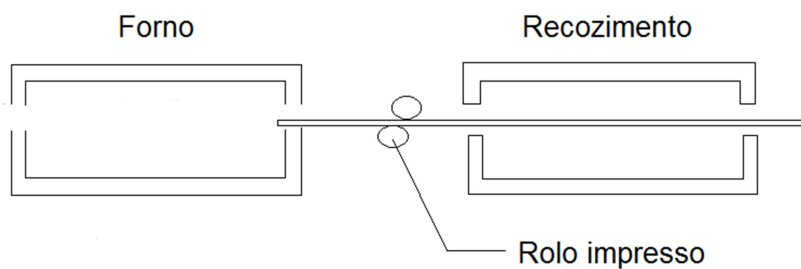


Figura 20 - Fabrico do vidro impresso. (2)

Por ser translúcido, não permite que se veja nitidamente o objeto, deixando no entanto passar a luz, devido às figuras ou desenhos em uma das suas faces ou em ambas. Este vidro é utilizado em situações onde a privacidade seja um requisito (Figura 21), como por exemplo em portas de casas de banho, decoração de interiores, em divisórias etc.

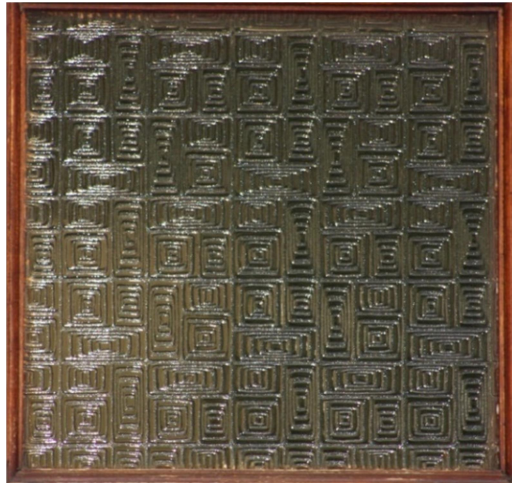


Figura 21 - Vidro impresso.

2.5.7. VIDRO ARAMADO

Pelo desenvolvimento de pesquisas de materiais resistentes ao fogo, surgiu o aparecimento do vidro aramado (Figura 22). Considerado como um vidro de segurança, o seu processo de fabrico consiste em inserir uma malha de aço inserida no material em fusão, de modo a ficar embebida, permitindo que, em caso de quebra, os fragmentos permaneçam presos a essa malha. Para além da sua resistência ao fogo, é igualmente resistente à corrosão, sendo recomendado para guarda copos, portas corta-fogo, passagens para saídas de incêndio sujeitas a impactos e coberturas com diversos tipos de acabamentos superficiais, cores e malhas metálicas. Para estas aplicações é necessário o estudo de caixilhos, juntas e calços. (10)

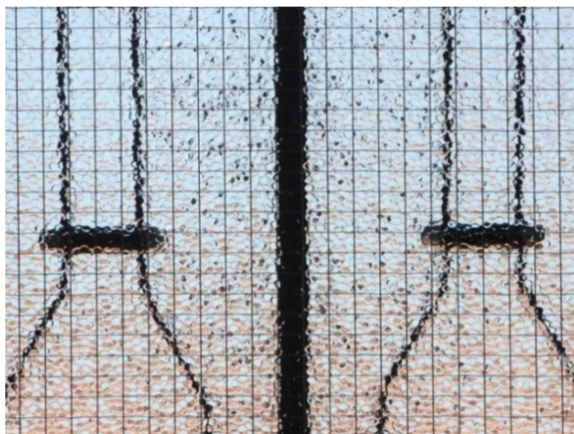


Figura 22 - Vidro aramado.

2.5.8. VIDRO MOLDADO

Nos dias de hoje, podemos observar o vidro moldado em diversos espaços, correspondendo às necessidades de segurança e estética. O vidro é aquecido a uma temperatura aproximada de 650 °C e depositado num molde, passando por um processo lento de cozedura. Quando falamos em vidro moldado, é referido, por exemplo, às telhas de vidro, tijolos ou até mesmo a vidro curvo. Existe uma grande variedade de telhas de vidro (Figura 23), onde é possível escolher a sua cor ou formato, sendo normalmente executada com o aquecimento a alta temperatura do vidro, após o qual o material pastoso extraído do forno é inserido em moldes previamente aquecidos. Este tipo de telha é cada vez mais utilizado no mercado da construção, uma vez que confere o usufruto da iluminação natural e consequentemente economia de energia elétrica. Comparativamente à telha de cerâmica, esta telha apresenta uma boa resistência mecânica, mesmo quando sujeitas a diferenças de temperaturas e a choques provocados quer pelo granizo ou um outro qualquer objeto. As designações são iguais às das telhas de cerâmica, sendo colocadas num ripado e ligadas entre si com argamassa. Para as clarabóias em telhados, é utilizado uma espessura de 10 mm.



Figura 23 - Telha em vidro. (18)

Por outro lado, os tijolos de vidro (Figura 24) são de caráter decorativo e de processo complexo. Com um molde quadrado ou retangular, as duas peças de vidro são fabricadas e unidas por fusão a altas temperaturas, o ar no seu interior é retirado de modo a criar um vácuo. Em obra, o assentamento destes tijolos é feito com argamassa, com 1 cm de afastamento entre si, sendo aplicado um separador para manter uma boa simetria. Contudo, os blocos de vidro não suportam cargas de construção, devendo sustentar apenas o seu peso próprio, sendo recomendável a sua utilização como elemento decorativo e em locais livres de impactos.

Após os 2.50 m de altura é necessário uma estrutura, de modo a suster a parede de blocos de vidro.
(10)



Figura 24 - Bloco em vidro. (15)

2.6. TIPOS DE ACABAMENTO NO VIDRO

Habitualmente, após a saída da câmara onde o vidro é produzido, este é resfriado e é executada uma inspeção, sendo posteriormente lavado e recortado, no tamanho pretendido. Para minimizar as irregularidades e imperfeições causadas pelo corte e aumentar a sua resistência, o vidro é finalizado por um acabamento nas bordas ou nos furos para a fixação de pontos, sendo, para o efeito, utilizada uma broca de diamante com ponta oca ou com jatos de água.

As arestas dos furos e as bordas provenientes dos cortes são trabalhadas, existindo diversos tipos de acabamentos em função da finalidade pretendida, podendo ser, corte limpo, inclinado, arredondado ou biselado. Por exemplo, no caso da aplicação de vidro temperado em caixilhos o acabamento indicado poderá ser inclinado, já para estruturas autoportantes podemos optar pelo acabamento arredondado.

Concluindo, para minimizar os riscos de rotura e melhorar a resistência do vidro, habitualmente as bordas são sujeitas a um tratamento que permite eliminar ou abater as arestas, deixando o bordo sem irregularidades e pronto a ser polido de forma a obter brilho. (10) (14)

2.7. ARMAZENAMENTO

Para uma maior durabilidade de qualquer um material, é essencial o seu zelo e atenção às suas condições de armazenamento e manutenção. Para evitar uma degradação do vidro, este deve ser armazenado em condições próprias, de acordo com a exploração, montagem e colocação, sendo recomendável o seu acondicionamento em sítio coberto, ausente de humidade, poeiras e sem grande

oscilação de temperatura. Para além das boas práticas anteriores, deve ser limpo e seco com uma ventilação mínima de 10 °C.

De acordo com o seu armazenamento (Figura 25), o material é colocado em cavaletes com uma inclinação de 6%, na vertical, empilhados o mais harmoniosamente possível, por dimensões e natureza, não devendo exceder os 30 cm de espessura. Os cavaletes são revestidos por um material macio, de bom estado, flexível e isento de poeiras ou outro tipo de material que danifique o vidro, sendo arrumados de modo a assegurar espaço suficiente para a circulação de pessoas e evitar o seu derrubamento. No caso dos vidros duplos, é ainda colocada uma base no fundo do cavalete de modo a evitar o seu deslize.



Figura 25 - Armazenamento do vidro. (6)

Em obra, o tempo de armazenamento deve ser reduzido, sendo exigido o máximo cuidado, dada a toda a envolvimento de uma construção, onde ocorrem diversos imprevistos que incrementam a possibilidade de rotura e sujidade. Deve ser evitada a colocação do material em zonas de circulação e exposição solar, uma vez que o sol origina quebras térmicas e fissuras, principalmente no caso dos vidros aramados, de cor e nos vidros duplos, podendo ainda alterar as suas propriedades.

Deve-se ainda ter em consideração a condição de todos os elementos que promovem a segurança do material, tais como as paletes de acondicionamento, cintas, ventosas, mástiques, peças metálicas, entre outros. Quando os vidros são entregues em caixas, estas devem respeitar as condições específicas do produtor, por outro lado as cintas ou ventosas devem encontrar-se em bom estado e irem de encontro ao tipo de vidro, isto é, adaptadas à sua forma, peso e especificidade. As mástiques de materiais sintéticos devem ser restauradas regularmente, tais como as guarnições de estanquicidade que devem ser controladas e substituídas se necessário.

Se todo o processo de armazenamento e manutenção for seguido conforme as regras de boas práticas o vidro não necessitará de preocupações particulares, necessitando apenas de limpeza com água e produtos comerciais sem serem alcalinos. (10)

2.8. CORROSÃO DO VIDRO

A corrosão está associada à destruição ou deterioração dos materiais, variando consoante o ambiente a que os mesmos se encontram expostos, que poderá potenciar a deterioração pela ação química ou eletroquímica.

O vidro é dos materiais com maior durabilidade entre os mais usados na construção, não sendo no entanto exceção à regra, uma vez que também ele se encontra sujeito à corrosão e à ocorrência de manchas. Pela sua fragilidade, a sua resistência pode ser reduzida quando afetado por agentes corrosivos, sendo imprescindível o estudo das causas e uma prevenção adequada para esses ataques.

A corrosão do vidro ocorre, regra geral, devido a soluções aquosas e normalmente em ambientes húmidos, como por exemplo em casas de banho (Figura 26). Contudo, este processo erosivo ocorre desde o primeiro contacto com a água, após a saída do forno, o qual promove reações químicas que podem causar erosão ou manchas quando o vidro é limpo. Este primeiro mecanismo, que pode desencadear a corrosão, decorre da troca de iões, designadamente, os iões de hidrogénio da água e iões de sódio no vidro, pela qual a água retira os iões de sódio do vidro sendo substituídos pelos de hidrogénio. Se este primeiro estágio de corrosão continuar por alguns minutos, o pH irá crescer devido ao acumular de OH (hidrófila- presente na base dos hidróxidos e formada por um átomo de hidrogénio e um de oxigénio) na solução. O aumento da alcalinidade é a segunda reação, sendo muito mais prejudicial que a primeira.

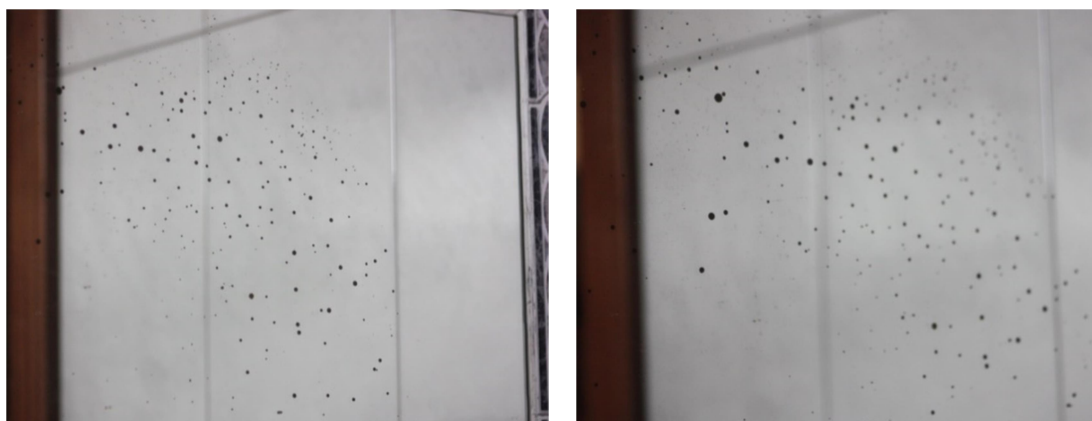


Figura 26 - Exemplo de corrosão no vidro.

Caso o pH permaneça inferior a nove, sobreleva o estágio 1, iniciando-se o estágio 2 quando ultrapassado esse valor. Ambos os mecanismos dependem assim do pH da solução. Durante o primeiro estágio, a qualidade ótica e a integridade superficial não são afetadas, no estágio 2, a concentração de íons hidrófila ataca os silicatos promovendo a danificação do vidro.

Este mecanismo de ataque provoca furos microscópicos na superfície, cujo desenvolvimento tornará mais notório a corrosão intensiva, deteriorando a qualidade ótica do vidro, mantendo contudo a sua integridade mecânica.

É pouco provável a ocorrência de corrosão nos vidros quando instalados em edifícios, coberturas etc., uma vez que a humidade não fica retida no material. Quando instalados, a humidade deve ser rapidamente evaporada ou diluída, não permitindo que o valor crítico do pH seja atingido, isto é, impedir a ocorrência do estágio 2, e conseqüentemente a deterioração do vidro.

Contudo, no armazenamento, deverão ser considerados alguns processos para evitar a sua corrosão. Um deles consiste em colocar papel, com pH ácido, de separação entre os materiais, tendo como finalidade evitar o abrasão e reduzir o pH a níveis inferiores ao estágio 2. Salienta-se neste parágrafo o facto do papel de jornal normalmente possui ácidos orgânicos, cujo seu pH é 5.

Existe outros materiais que evitam a corrosão como por exemplo produtos granulados, nomeadamente pequenas esferas de polimetilmetacrilato (PMMA), altamente resilientes, que proporcionam excelente proteção contra abrasão. É adicionado nas esferas, ácido edípico, de forma a retardar o aumento do pH, caso o estágio 1 inicie.

Por fim, todos os ambientes de armazenamento devem ser controlados e feita uma retrospectiva de modo a que o vidro seja acondicionado com segurança e prevenida a sua corrosão. (10)

2.9. SISTEMAS DE FIXAÇÃO

2.9.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O progresso tecnológico tem promovido uma redução da dimensão dos sistemas de fixação, sendo atualmente possível dispensar o uso de caixilhos e criar fachadas totalmente transparentes, fomentando uma maior interação entre o espaço exterior e o interior.

A Figura 27 ilustra a evolução gradual da dimensão dos sistemas de fixação, que ao longo do tempo tem vindo a adaptar-se às necessidades e exigências arquitetónicas.

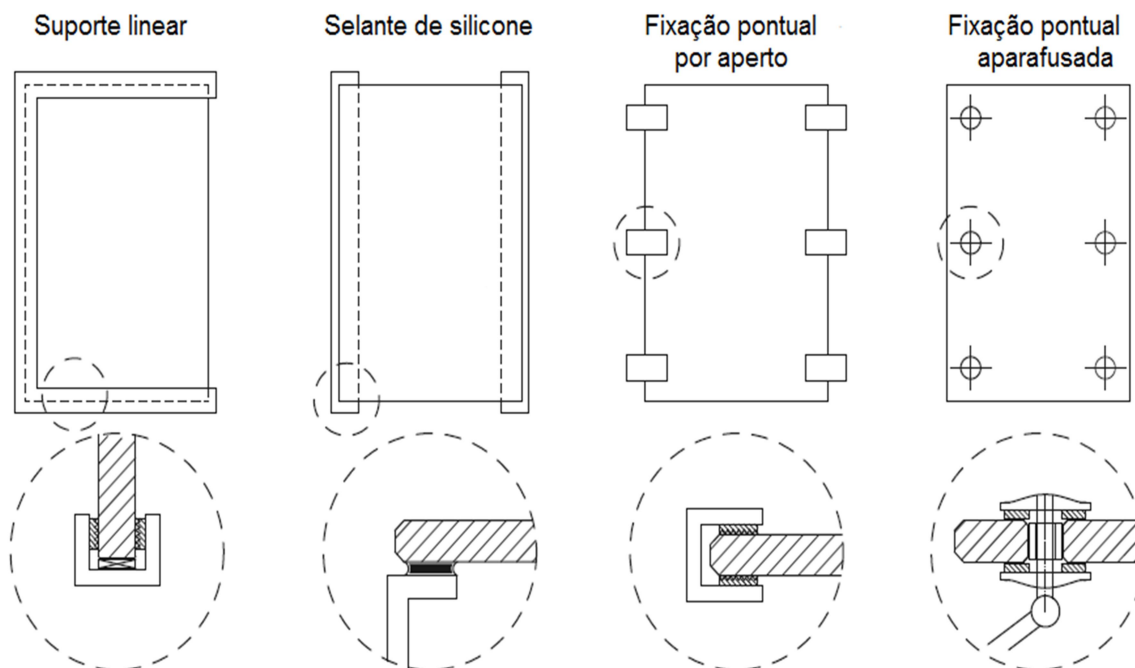


Figura 27 - Evolução dos sistemas de fixação mais comuns. (12)

Na associação do vidro com outro material, houve desde sempre a necessidade de evitar o contacto entre os dois elementos. Considerando as especificidades dos suportes de fixação, estes sustentam o próprio peso do vidro e absorve os esforços por flexão, como os decorrentes das condições climáticas, vento ou neve, e os movimentos diferenciais, permitindo a livre dilatação.

A fixação “vidro-vidro” é a mais recente tecnologia, que proporciona a utilização de conexões que permitem colar o vidro. Este tipo de ligação veio facilitar a colação do vidro nas situações onde não era possível fazê-lo com ligações mecânicas, contudo existem alguns problemas associados tais como a durabilidade dessa conexão.

Todas as conexões desenvolvidas têm vindo a ser promissoras e vantajosas, disponibilizando uma grande variedade de possibilidades para o engenheiro adotar na conceção do vidro-vidro ou do vidro com outros materiais. (12) (14)

Por forma a compreender um pouco mais sobre os sistemas de fixação, importa distingui-los em dois tipos: “fixação mecânica”, e mais recentemente, a “fixação aderente”.

2.9.2. FIXAÇÃO MECÂNICA

As fixações mecânicas são as mais utilizadas na construção civil, onde existe inúmeras soluções, geralmente escolhidas pelo projetista através de catálogos, consoante a função que é pretendida em obra. Normalmente este material de fixação é encontrado em aço inoxidável, devido à sua alta resistência e leveza, existindo também em alumínio. Destina-se a aplicar em paredes verticais ou inclinadas, produzidas em vidro plano e retangular.

Podemos dividir as fixações mecânicas em dois grupos:

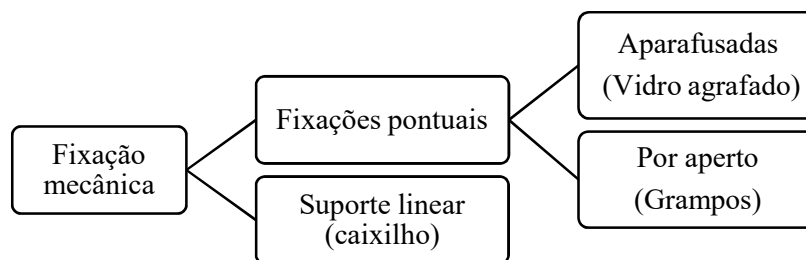


Figura 28 - Fixações mecânicas mais utilizadas.

2.9.2.1. FIXAÇÃO PONTUAL

Aplicadas em Portugal na década de 70, as fixações pontuais aparafusadas fazem parte de grandes fachadas agrafadas da arquitetura contemporânea. Estas fixações permitem realizar fachadas ventiladas ou até mesmo reabilitá-las, permitindo alcançar o máximo de transparência e elegância. Podemos encontrar fixações aparafusadas (fachadas agrafadas), mediante o sistema de fixação aranha, que permite a realização de paredes em vidro sem caixilho. Este acessório, em aço inoxidável, pode suportar até quatro painéis, dependendo do número de vidros a serem agrafados. Como é possível verificar ver Figura 29, este sistema de fixação, está relacionado com uma estrutura portante de cabos pré-tensionados, constituído por perfis metálicos ou bielas em aço-inoxidável. (10) (12)

Esta estratégia concretiza-se pela fixação, mediante a perfuração das pontas do vidro, cujas distâncias em relação aos bordos são pré-definidas. O vidro é interligado com silicone de modo a selar todo o painel que se encontra suspenso pela estrutura portante a adotar. A estrutura de cabos pré-tensionados permite alcançar alturas maiores e torna as estruturas mais leves e com uma deformação controlada. (16)



Figura 29 - Fixação pontual aparafusada (aranha em aço inoxidável com 4 braços).

Por outro lado, as fixações por aperto, como é o caso das presas e grampos, inseridas nas conexões de baixo atrito, são outra forma de minimizar o impacto visual, sendo adotadas frequentemente em guardas de segurança, varandas ou portas (Figura 30). De modo a ficar mais sóbrio, os grampos são afixados nos bordos do vidro, unificado por uma subestrutura. Por outro lado, estas fixações servem para a transferência de cargas perpendiculares ao painel de vidro, na qual os calços na borda inferior contribuem para o suporte das mesmas. Este tipo de fixação conta com o auxílio de um material intermediário de EPDM, que separa o vidro do suporte, auxiliando assim na transferência de cargas.

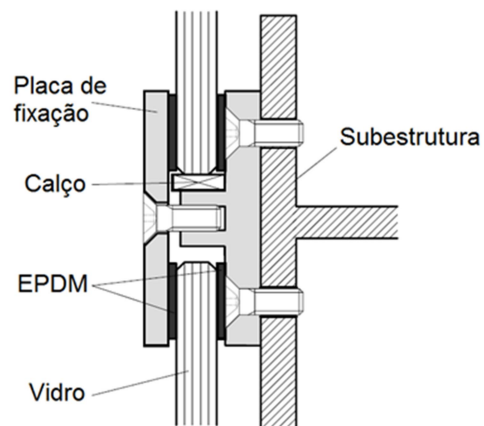
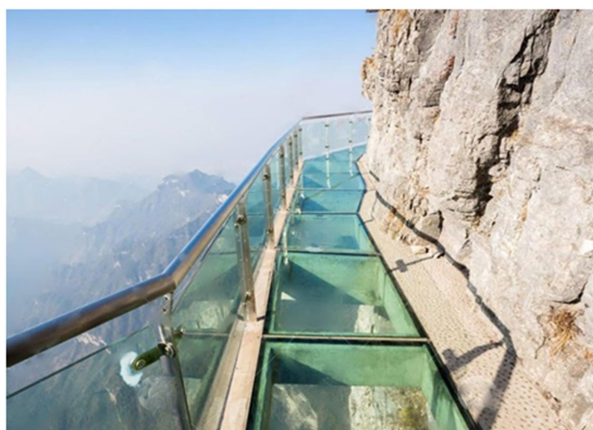


Figura 30 - Fixação pontual por aperto com atrito baixo (Grampos). (17) (12)

Outras fixações pontuais por aperto, capazes de transferir cargas, são as que dispõem de um parafuso, que ao pressionar os fixadores cria uma ligação aderente (Figura 31). Esta tipologia é teoricamente adequada para as cargas de tração no plano, uma vez que distribui a carga sobre uma área de superfície maior e evita a concentração de tensões principais. Esta fixação não promove o contacto direto entre o vidro e o parafuso, pois é constituído por furos de grande diâmetro e por um vedante que atua como uma camada intermediária entre o vidro e toda a subestrutura. O vedante deve ser suficientemente forte para resistir às tensões normais devido aos parafusos pré-esforçados.

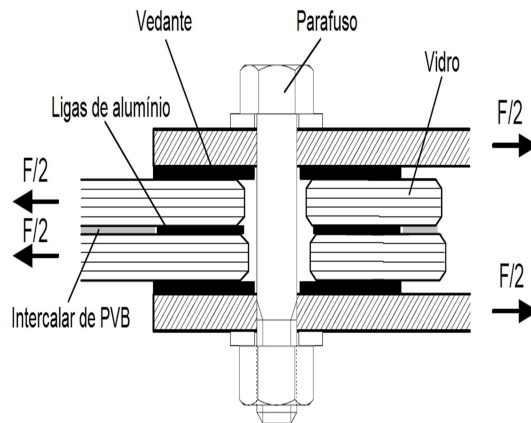


Figura 31 - Fixação pontual por aperto com ligação aderente. (12)

Este tipo de ligação deverá ser ponderada quando planeada para o vidro laminado, uma vez que o material intercalar neste vidro (PVB) é incapaz de resistir às forças de pressão induzidas pela conexão. A solução a adotar, utilizada na maioria das situações, consiste em remover e substituir, apenas na região de ligação de pressão, o intercalar deste vidro por um material mais rígido e não viscoso como por exemplo ligas de alumínio de espessura semelhante.

Por fim, é importante referir que, dependendo da geometria do vidro, a localização do grampo pode gerar restrições rotacionais, que, por sua vez, origina concentrações de tensões nesses locais. A rotação livre da borda do vidro na zona de fixação pode ser travada através da adoção de um material intermediário mais espesso e macio. (12)

2.9.2.2. SUPORTE LINEAR

Sendo um sistema de fixação clássico, o suporte linear contínuo consiste em suportar o vidro em torno de todo o seu perímetro recorrendo a caixilharia, usualmente de alumínio, madeira ou plástico, sendo muitas das vezes utilizado em portas e janelas na componente vertical e em coberturas e marquises no caso de caixilhos horizontais. Os seus painéis de vidro retangulares podem ser suportados ao longo de dois ou quatro bordos. Todo o sistema é isolado pela colocação de juntas de borracha EPDM ou por silicone que confere uma boa capacidade de rotação da borda do vidro em que é considerado para fins de modelação analítica e numérica, como um suporte de apoio simples.

É na caixilharia que se encontra o peso próprio do vidro, esta transmissão é conseguida através de calços localizados na borda horizontal do vidro. (12)

Os calços são pontuais, que, para além de evitar o contacto entre o vidro e o caixilho, também asseguram o posicionamento correto do vidro. São três os tipos de calços: i) laterais; ii) periféricos; e

iii) de apoio. Os calços laterais asseguram uma estanquicidade e transferem para o caixilho as solicitações perpendiculares ao plano do vidro. Por sua vez, os calços periféricos, são posicionados na borda lateral inferior de modo a evitar o deslizamento do vidro, quer nos movimentos pontuais de abertura e fecho, quer durante a manobra. Por fim, os calços de apoio são instalados no fundo do rebaixo e permite transmitir o peso do vidro para o caixilho. (10)

A Figura 32 demonstra os tipos de calços e exemplifica a utilização de um suporte linear com caixilho.

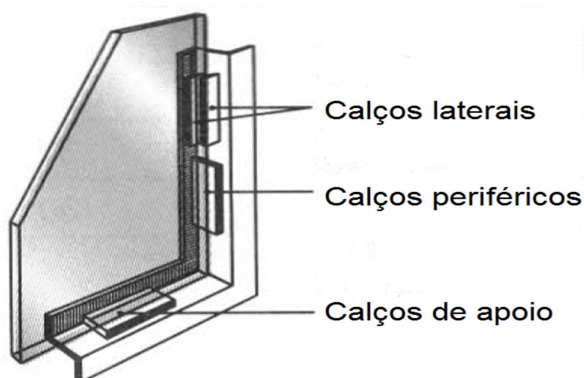


Figura 32 - Suporte linear. (9)

2.9.3. FIXAÇÃO ADERENTE

As fixações aderentes apenas surgem em Portugal nos anos 80, sendo as mais inovadoras e recentes no que diz respeito aos sistemas de fixação, pois permitem painéis totalmente em vidro sem qualquer tipo de moldura, tornando-se numa superfície plana e de fácil limpeza. (10)

Quando equiparadas às ligações mecânicas, as aderentes proporcionam a distribuição de cargas de forma mais uniforme, constituindo uma vantagem no que diz respeito às conexões de vidro, visto que a estrutura de material é sensível à concentração de tensões.

Nestas fixações destaca-se dois tipos de ligações: i) ligações adesivas elásticas onde é empregue o silicone estrutural; e ii) ligações adesivas rígidas que compreendem a utilização de adesivos, permitindo assim a ligação entre os painéis de vidro.

O silicone estrutural funciona, fundamentalmente, como um elemento de transferência das tensões, quer nas ligações do vidro com as subestruturas em fachadas de edifícios altos (selante estrutural de sistemas de vidros, SSGS), quer nas conexões vidro-vidro. No entanto, os silicones estruturais estão a ser cada vez mais utilizados como conexão, suportando todos os esforços que nele são aplicados. Para além de garantir a estanquicidade do vidro, o silicone tem uma elevada elasticidade, o que permite

assim acomodar deformações diferenciais. As ligações mecânicas são substituídas por juntas de silicone estrutural, de modo a conceber estruturas de vidro totalmente transparentes (Figura 33).

Existem dois tipos diferentes de silicone: i) silicone de um componente; e ii) silicones de duas componentes onde é necessário analisar a compatibilidade química entre o silicone e o vidro para uma boa correlação entre ambos. (12)



Figura 33 - Fixação aderente de silicone estrutural. (11)

Os adesivos são utilizados nas ligações mais rígidas, possuindo uma maior resistência e rigidez comparativamente aos silicones estruturais utilizados. Os adesivos mais usuais são os epóxicos e os acrílicos sendo que os epóxicos admitem espessuras de juntas superiores a 5 mm, enquanto os segundos permitem espessuras de 1 mm. Devido à sua elevada resistência, são utilizados em menores proporções o que possibilita juntas de dilatação reduzidas.

Deve no entanto haver uma ponderação na aplicação desta ligação, uma vez que apresenta uma capacidade débil de distribuição de esforços. Por esta razão, os adesivos são utilizados na indústria aeronáutica e automóvel, não sendo usuais na construção civil. Todavia, o seu desempenho ainda não foi testado e existe uma série de possibilidades de transmissão de tecnologia de outras indústrias para a construção civil. (18)

3

ESPECIFICAÇÕES E REGULAMENTAÇÃO

3.1. ESPECIFICAÇÕES DO VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Numa obra devemos ter em consideração a especificação do vidro consoante o seu uso, sendo importante assim conhecer-se o seu destino. Existem aspetos a ter em conta que asseguram e melhoram o desempenho energético do ambiente, nomeadamente: controle térmico, propriedades de espectros e segurança.

Por forma a melhorar o ambiente e funcionamento de um edifício, é fundamental definir corretamente, em fase de escolha do vidro, as características do comportamento térmico e acústico. Neste capítulo será abordado os parâmetros de maior interesse para a construção civil.

3.1.1. PROPRIEDADES DE ESPECTROS

3.1.1.1. TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a principal fonte de energia no planeta, sendo cada vez mais importante o seu aproveitamento para que haja uma construção sustentável. A radiação que atinge a superfície terrestre divide-se em três partes: i) radiação ultravioleta (3%); ii) radiação visível (50%); iii) radiação infravermelha (47%). Os principais parâmetros associados são o comprimento de onda, a frequência e a velocidade de propagação.

A radiação solar no momento em que incide no vidro, é repartida em três: i) transmissão direta; ii) reflexão energética; iii) absorção energética em diferentes proporções, consoante o tipo de vidro. Quando a radiação penetra no vidro de um edifício, é absorvida pelos objetos que nele se encontram, que quando aquecidos, refletem uma radiação térmica em todo o ambiente, dando origem ao “efeito

estufa”. Outro efeito da radiação solar é a descoloração que afeta as cores orgânicas, originando a degradação progressiva dos elementos. Este efeito pode ser atenuado usando, por exemplo, vidros laminados com PVB, devido à sua capacidade de barrar os raios ultravioletas. No entanto, existem fatores que influenciam estes efeitos, designadamente:

- Latitude geográfica do local;
- Altitude do solo no local;
- Estação do ano;
- Hora do dia;
- Orientação do vidro;
- Inclinação do vidro;
- Poluição da atmosfera;
- Ambiente circundante.

De uma forma geral, em Portugal, os valores máximos da radiação solar são tabelados consoante os seguintes aspetos: i) a estação do ano; ii) a orientação na qual a fachada está direcionada; iii) disposição da superfície (vertical ou com inclinação). (9)

3.1.1.2. TRANSMISSÃO LUMINOSA (T_v)

Entende-se por transmissão luminosa, a percentagem de luz visível que é transmitida para o interior de um determinado edifício, através do vidro.

Para garantir uma obra sustentável devemos ter em atenção o dimensionamento dos vãos da edificação e posicioná-los o mais alto possível, de modo a possibilitar a iluminação dos pontos mais distantes. Outro fator é a escolha do vidro, pois se tiver um elevado nível de transmissão de luz, maior será a luminosidade do ambiente.

Os valores de transmissão direta, reflexão e absorção dos vidros, relativos à transmissão luminosa, são tabelados e fornecidos pelas empresas no momento da escolha do vidro pretendido. (19)

3.1.1.3. REFLEXÃO LUMINOSA (R_v)

A reflexão luminosa é a percentagem de energia transmitida pelo sol que é refletida pelo vidro para o exterior. Por conseguinte, este coeficiente expressa a capacidade de um vidro se comportar como um espelho, sendo que um coeficiente de reflexão elevado permite, no horário diurno, uma boa visão do

interior para o exterior e refletância do exterior do edifício. Por outro lado, quando se trata do horário noturno, as características são as opostas. É possível aumentar a reflexão de um envidraçado mediante tratamentos específicos, como por exemplo, colocação de um revestimento superficial. Estes valores podem ser expressos entre os 5% a 60% diferenciando o valor pelo tipo de tratamento empregue.

Salienta-se que quando um vidro apresenta uma reflexão luminosa elevada encontra-se associada a desvantagem de possuir uma reduzida transmitância, ou seja, a luz natural do ambiente interior é reduzida. (19)

3.1.1.4. FATOR SOLAR (g_{\perp})

O fator solar, g_{\perp} , representa a percentagem da radiação total incidente que chega ao interior dos edifícios, composto pela radiação transmitida e pela radiação absorvida que é emitida para o interior. Com a nova regulamentação REH a substituir o RCCTE, o fator solar de um vidro representa o quociente entre a energia solar transmitida através do vidro para o interior e a energia solar nela incidente. Este parâmetro é importante na avaliação do comportamento térmico do vidro, podendo ser encontrado nos diversos catálogos. Podemos igualmente consultar tabelas que mostram valores diferentes de fator solar para cada tipo de vidro em função dos fatores de transmissão energética. Visto ser um valor inerente à energia solar que atravessa, quanto menor o fator solar menor a radiação incidente no ambiente.

O fator solar depende da posição do sol e das condições exteriores, tal como a intensidade de convecção natural favorecida pelo vento. (9) (19)

3.1.2. PROPRIEDADES TÉRMICAS

O vidro, como outro material, sofre variações de temperatura, dilatando-se quando é aquecido ou contraindo-se quando arrefecido. Assim, torna-se necessário conhecer um pouco das suas propriedades térmicas de modo a avaliar o seu comportamento. Entre as propriedades térmicas, são mencionadas neste capítulo o calor específico, condutividade térmica, dilatação linear e o coeficiente de transmissão térmica.

O efeito da temperatura ganha especial relevância no caso das fachadas (normalmente compactas por vidro laminado), onde existe uma maior exposição solar no exterior face ao interior, sendo que o vidro exterior ao tentar expandir é restrito pelo vidro interior, induzindo neste, tensões de tração que, ao não serem controladas, levam à rotura.

No caso dos vidros encastrados em pavimentos, existe um fenómeno semelhante, nomeadamente quando estes se encontram numa zona exposta à radiação solar, existe uma menor temperatura na parte ensombrada, originando nessa parte tensão de tração e tensões de compressão na parte exposta, onde a temperatura é superior, podendo levar igualmente à rotura do vidro.

Para as temperaturas exteriores e interiores quando não existe informação sobre a localização do edifício, devemos considerar os seguintes valores:

Tabela 4 - Valor da temperatura. (10)

| Valor da temperatura quando não há informação | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Estações | Temperatura exterior | Temperatura interior |
| Verão | 36,5 | 25 |
| Inverno | -6,0 | 20 |

Segundo Haldimann, é necessário recorrer a alguns fatores tais como:

- Tensão máxima admissível;
- Fator de absorção solar do vidro;
- Intensidade da radiação solar;
- Coeficiente de transmissão térmica;
- Coeficiente de transmissão térmica superficial;
- Amplitude térmica diurna;
- Temperatura interior no edifício;
- Sombras.

Para uma melhor compreensão e em termos comparativos, a Tabela 5 mostra o diferencial térmico máximo admissível para os diversos tipos de vidro, de acordo com testes desenvolvidos pela Pilkington. (12)

Tabela 5 - Amplitude térmica admissível no vidro. (12)

| | ΔT (°C) | |
|--------------------------------|-----------------|--------|
| | Cortado | Polido |
| Recozido, h <12 mm | 35 | 45 |
| Recozido, h=15 ou 19 mm | 30 | 40 |
| Recozido, h=25 mm | 26 | 35 |
| Padronizado | 26 | 26 |
| Aramado | 22 | 22 |
| Termoendurecido | 100 | 100 |
| Temperado | 200 | 200 |

3.1.2.1. CALOR ESPECÍFICO (C)

Sendo uma grandeza física que define a variação térmica de um corpo, o calor específico, c , estabelece a variação de calor quando um corpo recebe determinada quantidade desse fator. Torna-se assim pertinente conhecer o calor específico dos vidros e a sua variação para o cálculo do balanço calorífico dos fornos de fusão, seleção dos combustíveis e para as características dos fornos para aplicar o tratamento térmico tal como por exemplo, a têmpera. O calor específico do vidro é de $c = 0,19 \text{ Kcal}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}$. (10)

3.1.2.2. CONDUTIVIDADE TÉRMICA (λ)

A condutividade térmica é o fluxo de calor que passa, por hora, através de um metro quadrado de uma superfície, com um metro de espessura para a diferença de 1°C de temperatura entre as duas faces. Para o vidro, a condutividade térmica é $\lambda=1.16 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$. (10)

A transmissão de calor nos vidros pode ser feita por condução, radiação e convecção. A condutividade térmica por condução é baixa, tornando o vidro um mau condutor de calor em baixa temperatura. Já a transmissão por radiação a altas temperaturas torna-se relevante para a fusão do vidro. A título de curiosidade, a $1400\text{-}1500^\circ\text{C}$, a condutividade térmica do vidro em fusão é a mesma que a do ferro. Assim, juntamente com os movimentos de convecção da massa em fusão permite a uniformidade da temperatura e da viscosidade. (20)

3.1.2.3. DILATAÇÃO LINEAR

O coeficiente de dilatação linear de um sólido define-se como a variação sofrida por uma unidade de comprimento, ao alterar 1 °C a sua temperatura. Por outro lado, é o aumento do seu comprimento num intervalo de temperatura. O coeficiente linear do vidro é de 9×10^{-6} , num intervalo de 20 °C a 220 °C.

Por exemplo, um vidro com 2 m de comprimento, ao ser aquecido a 30 °C, sofrerá um aumento de comprimento de $\Delta l = 2000 \times 9 \times 10^{-6} \times 30 = 0,54$ mm. Numa aproximação, pode-se dizer que para um aumento de 100 °C num vidro com 1 m de comprimento dilata 1 mm. (10)

Estas variações de temperatura podem ter muita importância na aplicação prática, e por isso devem ser consideradas quando se utilizam vidros a altas temperaturas. (20)

3.1.2.4. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA (U)

Quando um vidro se encontra numa superfície em contacto com duas zonas de diferentes temperaturas, ou seja, o interior de um edifício e o meio envolvente, ocorre fenómenos de transferência de calor da zona de maior temperatura para a menor. Os mecanismos da transferência de energia térmica são por condução, convecção e radiação, que são expressas pelo coeficiente de transmissão térmica. O seu valor convencional é estabelecido por coeficientes de convecção superficiais definidos previamente e nas condições de teste segundo a norma NP EN 673: 2000.

O coeficiente de transmissão térmica representa o fluxo de calor por m^2 de vidro, quanto menor este valor, menor será a troca de calor entre os ambientes, ou seja, melhor será o isolamento térmico. O coeficiente de transmissão térmica de um elemento da envolvente é a quantidade de calor, por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa.

Uma forma de diminuir o valor é utilizar os vidros duplos, cuja câmara-de-ar limita as trocas térmicas por condução e convecção, tirando proveito da baixa condutividade térmica de ar. Contudo, o conforto térmico dependerá não só de um baixo coeficiente de transmissão térmica, U, mas também de um baixo fator solar. (21) (22)

Atualmente o mercado vidreiro oferece um conjunto alargado de soluções aplicáveis para cada tipo de construção. As características de comportamento térmico e ótico do vidro são, para qualquer projetista, noções imprescindíveis à otimização e dimensionamento dos vãos envidraçados, na conceção de um edifício. Na Tabela seguinte, é apresentada algumas soluções de vidros mais correntes obtidos pela vidreira Vitrochaves.

Tabela 6 - Valor do coeficiente de transmissão térmica, para vários tipos de vidro. (6)

| Tipo de vidro | Principais características e finalidades | |
|---|---|-----------------------------|
| Vidro simples incolor (6 mm) | Vidro simples incolor, é o vidro que permite maior transmissão de energia | U=5,7 W/(m ² ·K) |
| Vidro simples incolor (12 mm) | | U=5,3 W/(m ² ·K) |
| Vidro simples laminado incolor (66.1 mm) | Vidro simples laminado rege pela segurança e outras finalidades. | U=5,5 W/(m ² ·K) |
| Vidro duplo incolor (6+6+6) | Vidro duplo é um sistema que melhora o isolamento térmico e acústico, mantendo uma elevada transmitância visível. | U=3,3 W/(m ² ·K) |
| Vidro duplo incolor (6+12+6) | | U=2,8 W/(m ² ·K) |

3.1.3. BALANÇO ENERGÉTICO

Como descrito anteriormente, num envidraçado, por exemplo numa janela, podem ocorrer perdas térmicas, caracterizadas pelo coeficiente de transmissão térmica, U, e de ganhos solares, caracterizados pelo fator solar.

Deste modo, o balanço energético é dado pela diferença entre os ganhos solares úteis e as perdas térmicas. O balanço energético na estação de aquecimento é dado: (9)

$$BE = \frac{24}{1000} \times U \times GD - ES \times g \times Ft \times F_0 \times Fu \quad (1)$$

Em que:

U, coeficiente de transmissão térmica do vidro [w/m².K]

g, fator solar do vidro

GD, graus dias, para temperatura de base de 18°, na estação convencional de aquecimento

ES, energia solar incidente na estação convencional de aquecimento [kwh/m²]

Ft, fator de transparência, função da sujidade do vidro (0,8 ≤ Ft ≤ 0,9 para um envidraçado vertical)

F₀, fator de obstrução, função da sombra projetada por obstáculos circundantes (dispositivos de sombreamento, outros edifícios, árvores, etc.,)

Fu, fator de utilização dos ganhos solar, em função da inércia térmica do edifício e do modo de aquecimento ($0,4 \leq Fu \leq 0,8$)

O valor da energia solar incidente na estação convencional de aquecimento é tabelado por zonas e sentido de orientação. Os graus dias também são igualmente tabelados por zonas. A Tabela seguinte demonstra os valores de graus dias, GD. (9)

Tabela 7 - Valor de graus dias. (9)

| Zona Climatérica | GD [°C-dia] |
|------------------|-------------|
| Tâmega | 1570 |
| Douro | 1764 |
| Baixo Vouga | 1337 |

3.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS, LEGAIS E NORMALIZAÇÃO

Existe uma série de regulamentações emitidas pelo Comité Europeu de Normalização (CEN) em matéria de normas europeias de qualidade. Por regra, as vidreiras seguem essas normas emitindo catálogos que apresentam critérios e tolerâncias fixados pelas correspondentes normas EN, para cada tipo de vidro. Neste capítulo é apresentado o essencial de algumas das regulamentações existentes, no intuito de demonstrar a existência de normativos que invocam a segurança do vidro.

3.2.1. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

As exigências funcionais para os vidros são realizadas, essencialmente, para proporcionar segurança e conforto a todos os utilizadores que irão usufruir do espaço em que será empregue.

Existe uma grande necessidade de combater a deterioração dos edifícios e minimizar o respetivo tempo de manutenção, sendo ambicionado que os vidros sejam funcionais, sem apresentação de patologias e adequados ao ambiente onde ficarão expostos.

3.2.1.1. SEGURANÇA

Ao aplicar um painel envidraçado, ou até mesmo uma simples fachada com uma janela, há sempre uma preocupação associada, a segurança. Podemos afirmar que um vidro é seguro quando, a sua

técnica de fabrico ou a sua montagem permite reduzir a probabilidade de acidente, quer por deformação, incêndio, rotura etc.,. É a norma NF B32-500, que define a terminologia dos vidros de segurança, sendo aí apresentados três tipos de vidro importantes ao nível da segurança: i) o vidro temperado; ii) laminado; iii) aramado. É através de testes ao impacto que a normalização europeia avalia os vidros, pela natureza e grau de segurança pretendida em função da colocação em obra, tensões e perigos. A gradual aplicação do vidro acarreta igualmente uma necessidade exponencial em verificar a sua segurança sobre diversos fatores, tais como, a proteção de queda de pessoas; colisão accidental; resistência ao vandalismo e intrusão; proteção contra armas de fogo e explosões; e por fim, resistência anti sísmica. A Figura 34 mostra os principais tipos de vidro a escolher. (9)

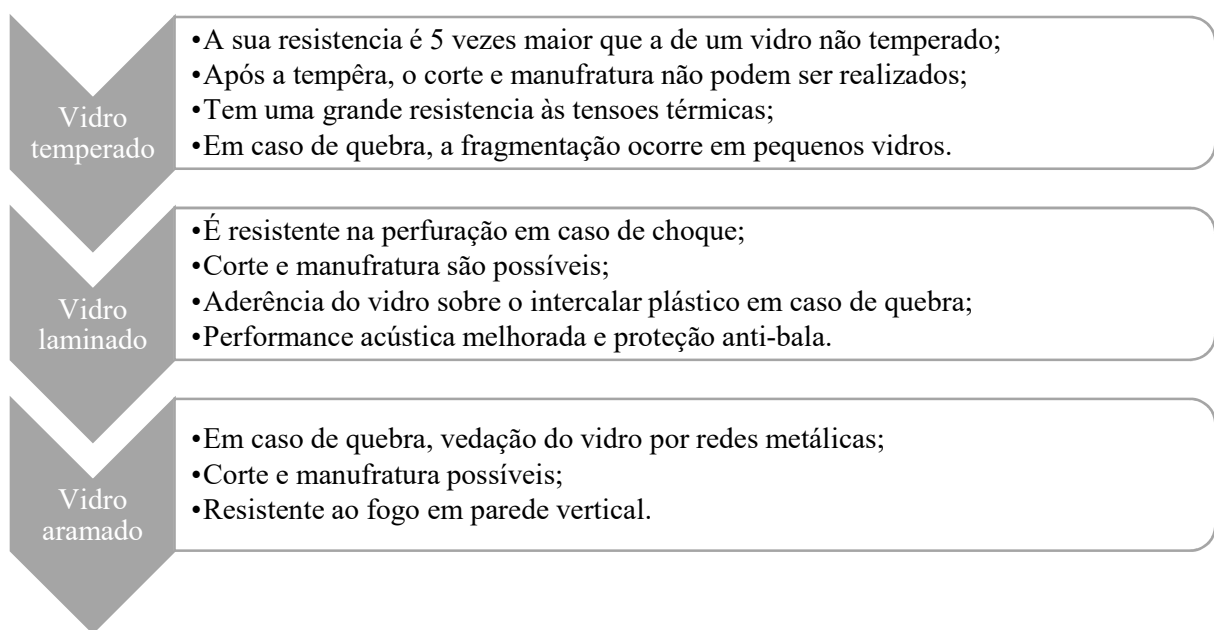


Figura 34 - Vidros que respeitam a segurança. (9)

Resistência ao impacto

Um vidro de segurança tem de garantir sempre a resistência a um determinado impacto. A norma EN12600, demonstra um ensaio que consiste em embater um pêndulo de 50 kg num envidraçado (Figura 35).

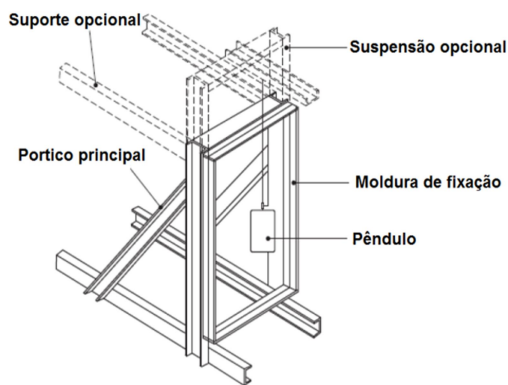


Figura 35 - Ensaio da resistência do vidro ao impacto segundo a EN12600. (23) (24)

Este ensaio classifica-se em 3 categorias demonstradas pela Tabela 8, dependendo do desempenho do vidro em função da altura em que o pêndulo é largado.

Tabela 8 - Classificação do ensaio segundo a EN12600. (23)

| Classificação | Altura de queda (mm) |
|---------------|----------------------|
| 3B3 | 190 |
| 2B1 | 450 |
| 1B1 | 1200 |

Proteção contra queda de pessoas

Os vidros devem obedecer a alguns testes de resistência, tais como:

- Queda de uma bola de aço de 500 g de uma altura de 0,75 m sobre um vidro, produzindo uma energia de choque de 3,75 J;
- Choque por um corpo, produzido por um saco com 50 kg caindo de uma altura:
 - 1,20 m para vidros situados abaixo de 1 m (corresponde a uma energia de 600 J);
 - 1,80 m para vidros situados acima de 1 m (corresponde a uma energia de 900 J).

Diz-se que um vidro é resistente ao choque quando este não é arrastado ou atravessado pelo corpo em queda, sendo no entanto permitida a sua fissuração. Para assegurar a proteção contra a queda de pessoas, devemos utilizar o vidro laminado e o vidro temperado.

No caso particular dos vidros duplos, estes são permitidos exclusivamente nas seguintes soluções:

- Vidro interior e exterior seja laminado;
- Vidro exterior laminado e o interior recozido ou temperado;
- Vidro interior laminado e o exterior seja recozido ou temperado;
- Vidro interior e exterior temperado, desde que seja comprovada a sua resistência nos testes aplicados e quando associado a uma proteção residual.

Já as guardas, torna-se um caso particular, onde deve ser realizado outros estudos de funcionamento estáticos, dinâmicos e de fadiga em função da especificidade do vidro. (9)

Resistência contra o vandalismo e intrusão

Mais uma vez, os vidros são submetidos a testes, avaliados e classificados conforme a sua resistência ao ataque ao vandalismo e a intrusão. É necessário dificultar, retardar a passagem de objetos, ou de pessoas numa tentativa de intrusão, sendo que a norma EN 356:2000 informa sobre dois tipos de testes de avaliação, por queda de uma bola de aço e outro por embate de um machado.

O primeiro teste consiste no elemento envidraçado resistir ao impacto de uma bola de aço de 4,1 kg e 100 mm de diâmetro, sendo a classificação atribuída consoante a altura da queda. Na segunda avaliação, o elemento envidraçado é submetido ao embate sucessivo de um machado, sendo classificado em função do número de choques necessários para criar uma fissura de 400 x 400 mm.

Na tabela seguinte, podemos verificar as classes de resistência contra o vandalismo e a intrusão, classificadas em dois níveis. Sendo o primeiro nível a classe P1A a P4A em que é realizado o primeiro teste. O segundo nível subdivide-se em dois: o P5A e o P6B ao P8B. O P5A diferencia-se dos P1A ao P4A, uma vez que o número de impactos é superior aos restantes a uma altura de 9m. A classe P6B a P8B sofre choques de um mecanismo equipado com massa que, após a sua aplicação, é feito uma abertura com o machado, sendo que o número de impactos necessários determina a classe do vidro.

Tabela 9 - Classificação de resistência contra ao vandalismo e intrusão. (9)

| Classificação | Altura de queda [mm] | Nº de impactos | Designação |
|---------------|----------------------|----------------|------------|
| P1A | 1500 | 3 | EN 356 P1A |
| P2A | 3000 | 3 | EN 356 P2A |
| P3A | 6000 | 3 | EN 356 P3A |
| P4A | 9000 | 3 | EN 356 P4A |
| P5A | 9000 | 9 | EN 356 P5A |
| P6B | Massa + Machado | 30 a 50 | EN 356 P6B |
| P7B | Massa + Machado | 51 a 70 | EN 356 P7B |
| P8B | Massa + Machado | >70 | EN 356 P8B |

Para uma eficiente proteção contra o vandalismo e a intrusão, é necessário não só o vidro ser resistente como ter caixilhos apropriados para uma proteção reforçada. (9)

Proteção contra armas de fogo

O vidro deve proporcionar proteção de modo a resistir às armas de fogo, sendo classificado de acordo com norma europeia EN 1065:2000. Esta norma distingue armas de mão, espingardas e armas de caça onde são qualificadas em várias classes para cada uma destas situações. O teste é avaliado no disparo de três tiros, exceto na classe de arma de caça, onde é apenas disparado um único tiro. Este teste é classificado pelo número de tiros e a distância a que estes são disparados, que normalmente variam entre os 5 m aos 10 m. Caso o elemento não seja perfurado por fragmentos de vidro que se soltam, o vidro recebe a marca adicional de NS (no splinters). No caso em que é perfurada o vidro recebe assim a marca S (splinters). (25)

Explosões

É cada vez mais requerido vidros específicos de proteção contra as explosões, normalmente com origem em mão criminosa. São os edifícios com grande poder político, social ou económico que requerem vidros com resistência face às explosões.

A regulamentação disponível para este caso é a EN 13541, a qual simula explosões de 25 kg a 100 kg de TNT a uma distância de 35 a 50 m. Neste caso, a classificação é atribuída mediante a pressão exercida sobre o vidro em função da distância a que a detonação ocorre. Podemos verificar na Tabela seguinte esta classificação. (25) (9)

Tabela 10 - Classificação da resistência segundo a EN 13541. (25)

| Classificação | Pressão refletida [kPa] |
|---------------|-------------------------|
| ER 1 | 50 a 100 |
| ER 2 | 100 a 150 |
| ER 3 | 150 a 200 |
| ER 4 | 200 a 250 |

Resistência anti-sísmica

A associação francesa de engenharia anti-sísmica afirma que a escolha de um vidro decorre de várias funções, como por exemplo, a altura do edifício, presença de elementos arquitetônicos e os objetivos visados em matéria de critérios de performance.

São três as classes de proteção, cujo objetivo é:

- E0- As quedas de fragmentos de vidro que são permitidos dentro das áreas de atividades e fora desta;
- E1- A manutenção no local dos elementos de enchimento, tolerando as quedas de fragmentos não perigosos, deve ser assegurada;
- E2 - Critérios idênticos a E1 e conservação da aptidão à função, através da manutenção e fecho da cobertura e, se possível, das funções particulares segundo a tipologia do edifício e as prescrições do técnico responsável da obra. (9)

3.2.1.2. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

Reação ao fogo

Foi a 26 de Agosto de 2003 que foi formalizada a decisão de modificar as euroclasses de reação ao fogo. Deste modo, as classes A1, A2, B, C, D, E e F substituem a classe M0, M1, M2, M3 e M4. Na classificação podemos encontrar por um lado, os produtos de fraca fração orgânica, que são de facto pouco ou muito pouco combustíveis, classificados de “classe A1” e “classe A2”. Por outro lado, os produtos combustíveis que contribuem para a deconflagração generalizada são classificados de “classe E”, sendo este critério mínimo colocado no mercado alemão e “classe F”, sendo este o produto reprovado no teste menos severo. Entre as extremidades, estão dispostos produtos combustíveis cuja contribuição à deconflagração generalizada é muito limitada “classe B”, limitada “classe C” ou significativa” classe D”. (26)

Os três níveis de solicitação térmica são indicados pela Figura 36.

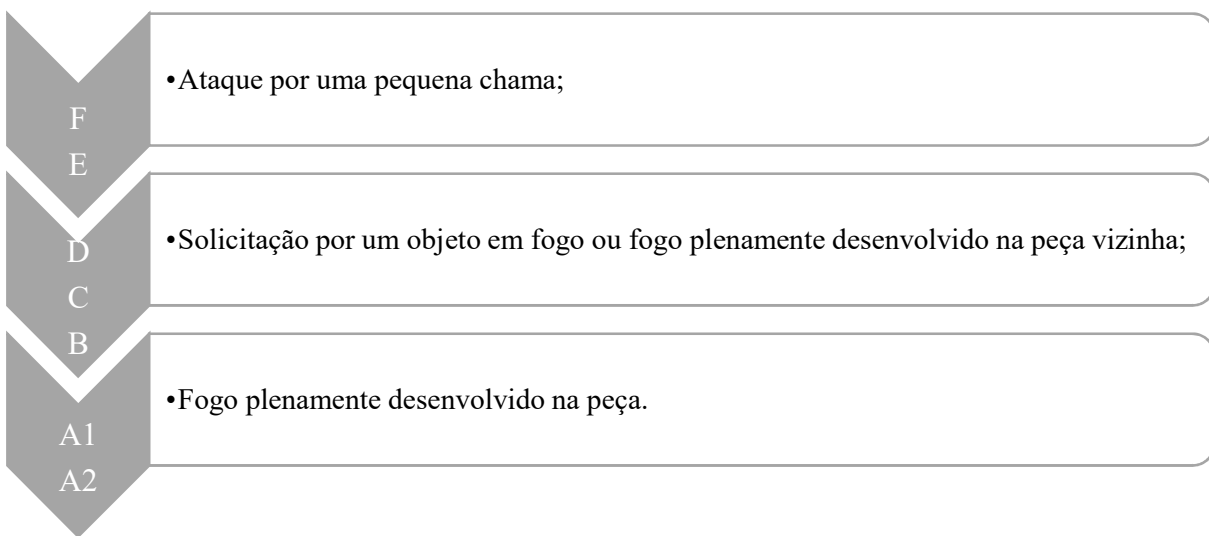


Figura 36 - Níveis de solicitação térmica. (26)

Segundo o decreto de lei 220/2008 de 12 de Novembro de 2008, remete para uma equivalência entre as especificações do LNEC e as constantes das decisões comunitárias. (27) As equivalências entre as especificações do LNEC e as do sistema europeu são as constantes da Tabela seguinte:

Tabela 11 - Classificação de acordo com as especificações do LNEC e do sistema europeu. (27)

| Classificação de acordo com as especificações do LNEC | Classificação segundo o sistema europeu | | |
|---|---|------------------|--|
| | Classes | Produção de fumo | Classificação complementar Queda de gotas/partículas inflamadas |
| M0 | A1 | - | - |
| | A2 | S1 | d0 |
| M1 | A2 | Não exigível | d05 |
| | B | Não exigível | d0 |
| M2 | A2;B | Não exigível | d1 |
| | C | Não exigível | d0; d1 |
| M3 | D | Não exigível | d2 |
| M4 | A2;B; C;D | Não exigível | d2 |
| | E | - | Ausência de classificação. d2 |
| Sem classificação | F | - | - |

Resistência ao fogo

Todos os materiais de construção são testados de acordo com resultados obtidos, em ensaios normalizados, para verificar a sua resistência ao fogo, o vidro não é exceção. Estes ensaios consistem em testar amostras em fornos que simulam um incêndio, os quais atingem elevadas temperaturas. A Tabela 12 mostra a escala de temperatura atingida num ensaio.

Tabela 12 - Temperatura atingida numa simulação de um incêndio. (9)

| 15 min. | 30 min. | 60 min. | 90 min. | 120 min. | 180 min. |
|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| 718°C | 827 °C | 925 °C | 986 °C | 1.030 °C | 1090 °C |

Nestes testes, existem quatro critérios importantes na determinação da resistência ao fogo nos materiais de construção, que são baseados em resultados experimentais, nomeadamente, a resistência mecânica, isolamento térmico, estanquidade às chamas e a ausência de emissão de gases inflamáveis. Segundo estes critérios, os elementos de construção podem ser classificados em cinco parâmetros segundo o sistema europeu:

- R- Suporte de cargas;
- RE- suporte de carga, estanquidade a chama e gases quentes;
- REI- Suporte de cargas, estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico;
- E- Estanquidade a chamas e gases quentes;
- EI – Estanquidade a chamas e gases quentes e isolamento térmico.

Estas categorias são distinguidas e aplicadas consoante os graus expressos, em função do tempo de exposição a que se encontra. Todo o material em vidro tem a classificação de materiais incombustíveis.

Dos ensaios já realizados sobre o vidro, é possível reter algumas informações úteis na hora de optar por um determinado material em função do seu destino, por exemplo, o vidro recozido parte rapidamente por choque térmico, sendo o vidro temperado mais resistente, contudo essa resistência diminui quando se está a fragmentar. Nos vidros aramados, a armadura metálica mantém o vidro conciso, assegurando assim a estanquidade às chamas, retardando o aparecimento de fraturas logo que o vidro entre em fluência (650/700 °C). Com o avanço da tecnologia e de estudos recentes, direcionados para a melhoria da qualidade do vidro exposto ao fogo, tornou-se possível colocar um gel entre dois vidros aramados ou temperados, obtendo assim uma boa classificação. O gel comporta-se como uma barreira térmica onde a temperatura eleva-se lentamente. (9)

3.2.1.3. EXIGÊNCIAS ACÚSTICAS

Minimizando a passagem de ruído, o controle acústico é um dos fatores essenciais na especificação do vidro para edificações. Independentemente da localização da construção, este é fundamental para o bem-estar e conforto do ambiente de um edifício.

O som é caracterizado pelo seu nível de intensidade sonora, I, e de pressão sonora, P, que pode ser medido através de equipamento próprio, chamado sonómetro, onde o seu resultado é expresso em decibéis, dB, numa escala logarítmica.

A onda sonora ao atravessar um determinado material é em parte absorvida, refletida e transmitida. No desenvolvimento do mecanismo de propagação, há diversos aspetos a considerar, tais como, a rigidez, ressonância ou a massa do vidro. No caso do vidro, a massa é um dos fatores mais importantes, concluindo que o seu aumento (espessura do vidro) para o dobro, permite reduzir em 6 dB o som transmitido.

Até à utilização dos vidros duplos para atenuar o ruído, a performance acústica era controlada pelo aumento da espessura dos vidros. Enquanto um vidro simples depende da massa e da rigidez da espessura, o vidro duplo depende ainda da ressonância “massa-ar-massa”.

Caso o vidro duplo seja utilizado com espessuras de vidro diferentes, ou seja, assimétricos, pelo facto de possuírem diferentes frequências, ocorre o amortecimento do som, levando assim a um melhor desempenho no que diz respeito ao isolamento acústico. Refira-se que o vidro não deve ser considerado um elemento isolado como elemento do vão envidraçado, o caixilho representa também uma parte importante do desempenho do isolamento. (10) (9)

A norma ISO 717-1 estabelece a distinção de dois termos de adaptação para ruídos de tráfego e para ruídos provenientes da circulação, com vista à distinção de situações em que o som é produzido numa frequência elevada ou reduzida. A especificação, $R_w(C, C_{tr}) = 35(-5;-10)$, significa que o índice de redução sonora é de 35 dB e que é reduzido de 5 e 10 dB respetivamente, para ruídos de circulação e de tráfego. (28)

Para facilitar a designação de atenuação acústica foi desenvolvido pelo CERAL (Organismo de Certificação dos Vidros de Isolamento), seis classes de desempenho acústico (Tabela 13).

Tabela 13 - Classes de redução sonora a ruídos de tráfego. (9)

| Classe | I | II | III | IV | V | VI |
|--|----------|-----------|------------|-----------|----------|-----------|
| R_w (C, C_{tr})[dB] | 25 | 28 | 31 | 33 | 35 | 38 |

A Tabela 14 apresenta a composição e espessura de alguns vidros da vidreira, Vitrochaves, onde visualizamos diferenças no que diz respeito ao índice de redução sonora.

Tabela 14 - Vidros da Vitrochaves e seus índices de redução acústica. (6)

| Tipo de Vidro | Composição | Espessura (mm) | R_w (dB) |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|
| Vidro simples | - | 6 | 31 |
| | - | 8 | 32 |
| | - | 10 | 34 |
| Vidro simples duplo simétrico | 4+12+4 | 20 | 32 |
| | 4+16+4 | 24 | 32 |
| | 8+16+8 | 32 | 37 |

| | | | |
|--------------------------------|---------|----|----|
| | 4+12+6 | 22 | 33 |
| Vidro duplo assimétrico | 4+16+8 | 28 | 35 |
| | 10+16+4 | 30 | 39 |

3.2.1.4. EXIGÊNCIAS TÉRMICAS

Tensões de origem térmica

O vidro tem uma fraca condutibilidade térmica, quando sujeito ao arrefecimento ou reaquecimento ocorrem tensões de origem térmica, que podem conduzir à sua rutura caso ultrapasse um valor crítico. As variações de temperatura, são provocadas geralmente pela exposição solar localizada ou pela proximidade de um corpo quente, como aparelhos eletrónicos. Na conceção de um projeto temos assim que ter em consideração as temperaturas a que o material irá estar sujeito. No caso do vidro mais básico, o vidro recozido, não devem ocorrer diferenciais de temperaturas superiores a 60 °C. Para obter melhores resultados à exposição solar, devemos empregar um vidro que tenha uma melhor resistência a diferenças de temperatura, sendo para o efeito, aconselhável utilizar o método da têmpera, de modo a suportar variações de temperatura superiores. (9)

Resistência ao choque térmico

É a diferença de temperatura excessiva no vidro que causa a rotura devido ao choque, onde são vários os fatores que contribuem para esse acontecimento. Para a diferença de temperatura máxima entre dois pontos de chapa de vidro, deve ser considerada: i) a zona mais quente, a qual, por norma, localiza-se na parte central do vidro sobre a qual incide toda a radiação solar; ii) a zona mais fria, normalmente, a superfície que se encontra à sombra ou no interior da gola dos perfis. São as diferentes dilatações térmicas das zonas quentes e frias, que causam tensões de tração no interior da massa do vidro mais fria, podendo assim fraturar o material. Por outro lado, os vidros horizontais e os envidraçados expostos às radiações solares nos quadrantes Este, Sul e Oeste, são os mais suscetíveis de sofrerem problemas de rotura por choque térmico. Para evitar o risco de rotura é aplicado vidros de maior resistência ao choque térmico, por exemplo, o vidro termoendurecido, vidro com baixo coeficiente de dilatação térmica e o vidro temperado termicamente e quimicamente. Para termos uma perceção da

resistência do material ao choque térmico, temos o exemplo do vidro recozido que é considerado um valor de 60 °C, enquanto para o vidro temperado o valor é na ordem dos 240 °C.

Existem vários métodos de cálculo para obter informação mais detalhada e aprofundada sobre a rotura por choque térmico, seja por utilização de programas de cálculo, que permitem verificar as diferenças de temperatura entre o centro e os bordos dos vidros, ou mediante tabelas com os coeficientes dos vidros que não podem ultrapassar valores críticos. Esta resistência ao choque térmico depende igualmente do módulo de elasticidade, da resistência à tração e do coeficiente de dilatação. (9) (10) (14)

3.2.2. EXIGÊNCIAS LEGAIS

De forma a uniformizar um padrão de aplicação e de fabrico, os vidros são disciplinados por normas europeias e regulamentos que visam supervisionar todo o seu processo de fabrico.

A normalização é assim um meio de comunicação entre os fabricantes e os utilizadores, onde o produto é caracterizado detalhadamente quanto ao seu desempenho e qualidade. Deste modo, os fabricantes, previamente à comercialização do produto, aplicam a marca CE e a respetiva etiquetagem. Esta marca dá a garantia que o produto está em conformidade com as normas obrigatórias para vários produtos comercializados no Espaço Economico Europeu (EEE). Os vidros com a marca CE asseguram a conformidade dimensional e as características de desempenho mecânico. Para além disso, o produto atende à legislação da União Europeia em matéria de segurança, higiene e proteção ambiental. Na Figura 37, temos um exemplo da marcação CE para uma janela de cobertura. (29)



Figura 37 - Exemplo de uma etiqueta empregue num vidro. (6)

4

APLICAÇÃO DO VIDRO NA CONSTRUÇÃO

4.1. PARÂMETROS DE SEGURANÇA E CONFORTO

Ao iniciarmos um projeto com uma estrutura em vidro associada, no seu dimensionamento devemos ter em atenção alguns critérios, de modo garantir a sua segurança e conforto. A seguinte figura demonstra alguns dos parâmetros a ter em consideração:

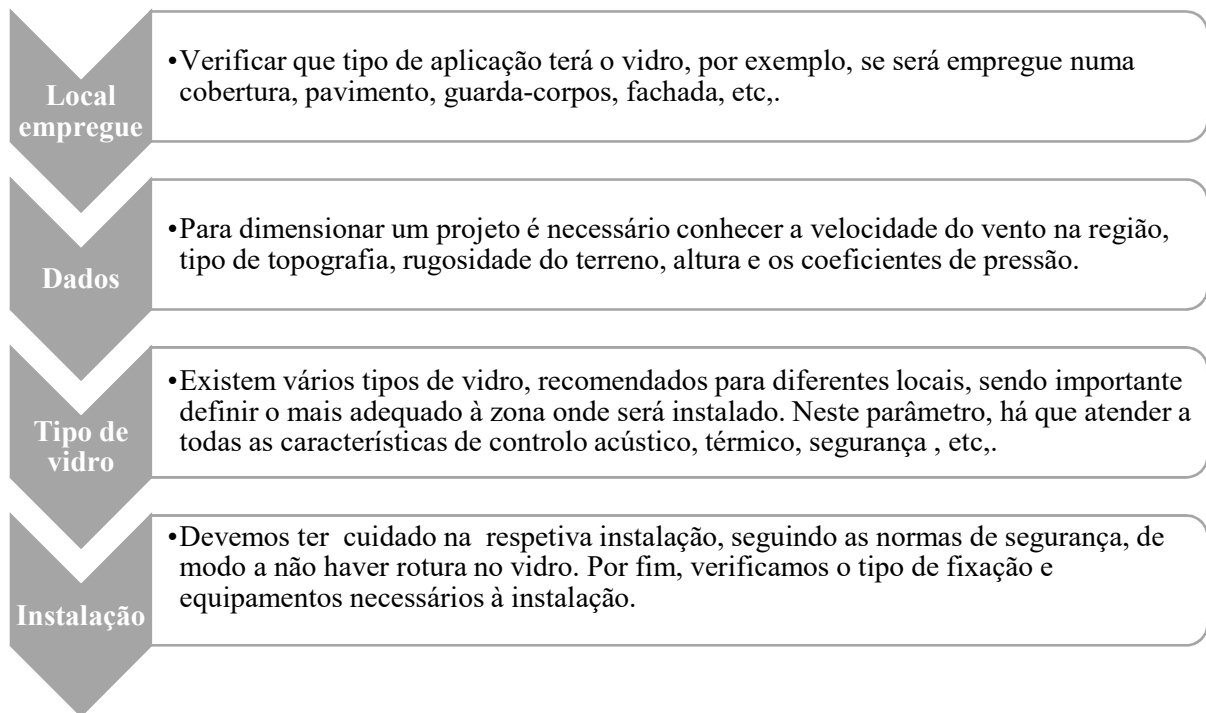


Figura 38 - Critérios a ter em conta numa obra.

Quando empregue na construção civil, o vidro deverá ter a capacidade de resistir às ações a que irá ser exposto, acautelando a segurança e o conforto do ambiente. A avaliação da segurança passa por

determinar todos os aspetos do comportamento e as possibilidades de ruína, tendo em consideração o estado limite último, o estado limite de utilização e a aplicação do RSA. Sendo que a verificação do estado limite de utilização, envolve o cumprimento dos limites aplicados à deformação do vidro, enquanto o estado limite último está relacionado com a prevenção da rotura.

O presente capítulo descreve as ações a que este material estará sujeito na conceção de construções, designadamente, o próprio peso, ação do vento e em alguns casos a ação da neve. Toda a metodologia de dimensionamento é muito semelhante à de outros materiais estruturais, onde existem regras de cálculo regulamentadas e testes experimentais.

Quando aplicado na vertical a ação mais relevante é a do vento, considerando que a ação da temperatura é minimizada pelas folgas existentes no sistema de fixação, o próprio peso é considerado no dimensionamento dos calços de apoio e o peso da neve é inexistente. Já no paramento horizontal, devemos ter em conta de igual modo o vento, adicionando outro fator como o próprio peso e a ação da neve. (13)

4.2. AÇÕES DIRETAS

4.2.1. PESO PRÓPRIO

É a única ação de caráter permanente, sendo determinado em conformidade com a norma EN1991-1-1. O peso volúmico utilizado para o vidro é de 25 KN/m³, inferior em 52 KN/m³ ao aço (peso volúmico de 77 KN/m³), material muitas vezes combinado com o vidro. (25)

A norma NP DTU 39 P4, dá-nos a fórmula para determinar o peso próprio do vidro:

$$PP = 25 \times e \quad (2)$$

4.2.2. AÇÃO DO VENTO

A ação do vento resulta da interação entre o ar em movimento e as construções, exercendo-se sob forma de pressões aplicadas nas suas superfícies. Essa massa de ar move-se principalmente em direção horizontal, tendo-se no entanto presente que, pelas suas características, pode assumir qualquer direção.

Para quantificar a ação do vento, deve ser considerada a ação correspondente a um período de retorno de 50 anos, em concordância com o RSA. (13)

Por outro lado, para determinar a sua velocidade deve ter presente alguns fatores inerentes às distintas localidades do país, considerando o efeito a seguinte divisão territorial:

- Zona A: Inclui a generalidade do território, exceto os locais pertencentes à zona B;
- Zona B: Inclui os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou altitude superior a 600 m.

No apuramento da rugosidade aerodinâmica do solo, que condiciona a velocidade do vento, existindo variação da sua ação na altura acima do solo, devemos considerar os seguintes tipos de rugosidade:

- Rugosidade do tipo I: Rugosidade a atribuir aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem edifícios de médio e grande porte;
- Rugosidade do tipo II: Rugosidade a atribuir aos restantes locais, nomeadamente zonas rurais e periferia de zonas urbanas.

Assim, na determinação dos valores característicos da pressão dinâmica do vento (w_k), considera-se a altura do edifício acima do solo e o tipo de rugosidade. Na zona B, o valor da pressão dinâmica a considerar deve ser obtido multiplicando por 1,2 o valor indicado para a zona A. O valor da pressão dinâmica, w , está relacionado com os valores da velocidade, v , dado através do RSA:

$$w = 0,613 \times v^2 \quad (3)$$

Solo com rugosidade do tipo I:

$$v = 18 \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0,28} + 14 \quad (4)$$

Solo com rugosidade do tipo II:

$$v = 25 \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0,20} + 14 \quad (5)$$

Para determinar a ação do vento sobre uma construção, de acordo com os critérios referidos, é necessário conhecer, além da pressão dinâmica do vento, w , os coeficientes de forma relativos à construção em causa.

O cálculo da força do vento, F , essencial para o desenho e construção de estruturas mais seguras e resistentes, juntamente com o cálculo do coeficiente de forma de pressão definido para uma superfície particular da construção, permite calcular a pressão que exerce a superfície, p , pela equação:

$$F = \delta_f \times w \times A \quad (6)$$

$$p = \delta_f \times w \quad (7)$$

4.2.3. AÇÃO DA NEVE

Esta é uma ação que pode, em geral, ser considerada como uma carga distribuída onde deve ter em consideração no cálculo das coberturas ou pavimentos exteriores em vidro, cujo valor característico é dado pelo RSA.

4.3. DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA

4.3.1. NORMA FRANCESA (NF P 78-201- 4: 2006)

Identificadas as condições a que a obra estará sujeita, nomeadamente o local e a pressão exercida pelo vento, passamos para o próximo passo previsto na norma.

Através da fórmula de Timoshenko, analisamos a espessura nominal para os vidros planos monolíticos submetidos a uma pressão uniformemente repartida (para apoios contínuos de 2 lados ou 4 lados).

$$e = \sqrt{\beta \times P \times \frac{l^2}{\sigma_{adm}}} \quad (8)$$

É com base na fórmula anterior, que a norma francesa DTU 39 gera novos princípios para o cálculo da espessura de um vidro simples e_1 . A fórmula e_1 que foi utilizada no caso prático foi a seguinte:

$$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}} \quad (9)$$

O método de avaliação baseia-se na comparação da espessura total do vidro dimensionado, neste caso é um vidro duplo com um dos panos monolítico e outro laminado, com a espessura necessária para resistir à solicitação, que para outro tipo de vidro que não o simples, foi necessário multiplicar por um factor (ε).

$$e_T \geq e_1 \times \varepsilon_1 \quad (10)$$

Em que:

$$e_T = \frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1 \geq e_1 \times \varepsilon_1 \quad (11)$$

O factor ε depende do tipo de vidro, para o vidro duplo o seu valor é de $\varepsilon_1 = 1,5$ e para o vidro laminado é de $\varepsilon_2 = 1,3$. É admitido um valor para h_1 , h_2 e h_3 após o cálculo da fórmula $e_1 \times \varepsilon_1$. Para os vidros exteriores existe ainda um fator de redução, para aqueles que se encontram a menos de seis metros do solo, c:

- Para envidraçados monolíticos fixos, com uma área superior a 5 m para apoio contínuo de 4 ou 3 lados e cuja parte superior esteja a menos de 6 m do solo externo: $c = 0,8$;
- Para os envidraçados monolíticos fixos, apoiado em 2 lados, com bordos livres superiores a 2 m e cuja parte superior está a menos de 6 m do solo exterior: $c = 0,8$;
- Para outros envidraçados monolíticos fixos: $c = 0,9$.

De modo a que o vidro seja considerado um vidro de segurança, deve ter em conta a verificação (10). Caso esta seja conferida podemos afirmar que o vidro resiste à carga aplicada e que o dimensionamento é portanto válido.

A norma obriga a controlar a deformação do vidro em que é verificado o valor da flecha. Para verificar a flecha é utilizado uma espessura equivalente, e_2 :

$$f = \alpha \times \frac{P}{1,2} \times \frac{b^4}{e_2^3} \quad (12)$$

$$e_2 = \frac{\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1}{\varepsilon_1} \quad (13)$$

Se a flecha exceda o valor permissível, a espessura dos componentes deve ser aumentada até que todos os requisitos sejam atendidos. Deste modo, para evitar deformações excessivas do vidro, a flecha máxima deve ser inferior a:

- Vidro simples: $\frac{l}{100}$
- Vidro duplo: $\frac{l}{150}$

A abordagem nesta norma é feita de forma prática, utilizando aproximações de base experimental, não havendo assim distinção entre pequenas ou grandes deformações. O principal objetivo é verificar se o projeto de dimensionamento é válido ou não. (30)

4.3.2. FÓRMULA DO LNEC

Este método permite apenas utilizar fórmulas diferentes para o cálculo da espessura, consoante o tipo de vidro e sua simetria para o caso do vidro laminado ou duplo.

$$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}} \quad (14)$$

Para verificar a segurança, é utilizado uma espessura equivalente que deve ser superior a espessura de um vidro simples recozido, e_1 :

$$e_{eq} \geq e_1 \quad (15)$$

Em que:

Vidro duplo simétrico

$$e_{eq} = 1,226 \times e' \quad (16)$$

Vidro duplo assimétrico

$$e_{eq} = e'_e \times \sqrt{\frac{e'^3_e + e'^3_f}{1,33 \times e'^3_e}} \quad (17)$$

É adicionado ao vidro simples factores de redução associado em caixilho fixo (k1):

- Fator de redução de 0,8 para os vidros nos quais a parte superior está situada a menos de 6 m do solo e em vidros de grande dimensão, com superfície superior a 5 m² apoiado em 4 ou 3 apoios com o lado livre com comprimento superior a 2 m;
- Fator de redução de 0,9, nos restantes casos;

Outro fator de redução (k2) associado consiste em :

- No caso da superfície da folha fixa ser menor que 5 m², o fator de redução é de 1,0;
- No caso da superfície da folha fixa superior a 5 m², o fator de redução é de 0,89.

Independentemente dos resultados obtidos, a espessura do vidro simples não deve ser superior aos valores indicados na seguinte tabela:

Tabela 15 - Espessura nominal mínima admissível para o vidro simples. (14)

| | | | | |
|--|------|------|-----|---|
| Largura do vidro (m) | 0,66 | 0,92 | 1,5 | 2 |
| Espessura nominal do vidro (mm) | 3 | 4 | 5 | 6 |

Após o cálculo do vidro simples é aplicado um factor ε , dando assim a espessura para outro tipo de vidro que não o simples, este valor depende do tipo de vidro, para o vidro duplo o seu valor é de 1,5 e para o vidro laminado é de 1,3.

Há que salientar que os coeficientes de redução não se aplicam para os vidros em cobertura.

Para o controlo de deformação é feito o cálculo da flecha, semelhante ao da norma francesa, aplicando-se uma nova fórmula de espessura equivalente (e_2): (13)

$$f = \frac{\alpha \times P \times l^4}{E \times e_{eq}^3} \leq \frac{L}{150} \quad (18)$$

Em que:

Vidro duplo simétrico

$$e_{eq} = 1,146 \times e' \quad (19)$$

Vidro duplo assimétrico

$$e_{eq} = \sqrt[3]{\frac{e_e^3 + e_f^3}{1,33}} \quad (20)$$

Deste modo, para evitar deformações excessivas do vidro, a flecha máxima deve ser inferior a:

- Vidro simples: $\frac{l}{100}$
- Vidro duplo: $\frac{l}{150}$

4.3.3. CÁLCULO DA ESPESSURA MÍNIMA PARA PAVIMENTO E ESCADAS

Atualmente, o uso de pavimento e escadas em vidro tem crescido um pouco por toda a parte, através de diversos métodos e possibilidades de execução, gerando alguma apreensão relativamente ao seu dimensionamento.

O dimensionamento de estruturas em vidro dispostas na horizontal requer cuidados redobrados face às condições a que estão expostas, nomeadamente perante a ação humana e à presença de cargas de carácter permanente, que diminuem a capacidade de carga do vidro. Pela presença dos referidos fatores, o vidro quando aplicado em pavimentos ou escadas não deve ser considerado como um elemento estrutural, ou seja, em caso de rotura, não pode colocar em perigo a restante estrutura e deverá permanecer em segurança até que se proceda à reparação ou substituição do mesmo.

Por razões de segurança, é utilizado o vidro laminado e películas em PVB entre as camadas de vidro. Cada elemento deve conter espessuras idênticas, sendo superior ou igual a 8 mm e com qualidade mecânica idêntica (temperado, termoendurecido ou recozido). Este material requer uma especial atenção, pois o seu atrito é reduzido e conseqüentemente suscetível ao deslizamento. No entanto, esta limitação é ultrapassada pela adição de uma camada em vidro adicional, de espessura inferior, na face superior, considerada uma faixa de desgaste e protetora, com tratamento antiderrapante que poderá ser substituída. Essa camada adicional de desgaste, não é considerada no cálculo da espessura, apesar de ser considerado o seu peso próprio. No caso de pavimentos luminosos, é necessário assegurar que a temperatura produzida não ultrapasse os 60 °C. O risco de rotura térmica depende da distância a que está a fonte luminosa do vidro, da ventilação do espaço e da resistência do vidro.

Nesta dissertação, optou-se por recorrer ao método de cálculo indicado no livro da Saint-Gobain na conceção de um pavimento. Segundo este, após a rotura de um dos vidros laminados, deve ser adicionado outro da mesma espessura e do mesmo tipo para garantir uma segurança reforçada.

A estrutura de apoio deve ser rígida para que as deformações permaneçam inferiores ou iguais a $1/500$ do comprimento do lado considerado quando o pavimento é carregado. Por questões de segurança, a flecha do centro do pavimento não deverá exceder $1/200$ do lado mais pequeno e deve ser inferior a 10 mm. A largura do apoio que segura o vidro é igual ou superior a 1,5 vezes a espessura do pavimento. Salvo a exceção quando o pavimento tem espessura superior a 30 mm, pode ser admitido que a largura do apoio seja igual à espessura do pavimento (Figura 39).

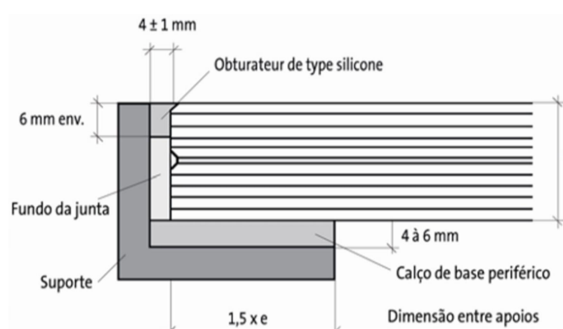


Figura 39 - Pavimento em vidro e seu suporte. (9)

Para o cálculo da espessura mínima do vidro em pavimento, são aplicadas duas fórmulas, que se encontra em anexo e suas tabelas de parâmetros necessários ao cálculo. Uma das fórmulas é para a segurança normal (quando a quebra do pavimento não provoca ferimentos graves) outra para segurança reforçada (quando a quebra pode conduzir a ferimentos graves ou colocar em risco a vida das pessoas). (9)

As espessuras nominais são tabeladas após o cálculo da espessura mínima encontrada através das referidas fórmulas. Deste modo, após encontrar a espessura nominal, pode ser calculada a espessura comercial segundo a relação:

$$e_f = e_n \times n \quad (21)$$

Esta tem em conta a espessura do intercalar, do pavimento de desgaste e as tolerâncias de fabricação de cada componente.

A flecha máxima no centro do pavimento de vidro é obtida através da seguinte expressão:

$$f = \frac{\alpha \times p \times l^4}{n \times e_m^3} \quad (22)$$

5

CASO PRÁTICO

5.1. INTRODUÇÃO

Após uma abordagem teórica, o presente capítulo será orientado através de um caso prático, o qual tem como objetivo compreender a aplicação de um vidro numa habitação e determinar qual o tipo mais vantajoso a ser utilizado.

Pretende-se edificar uma fachada com painéis de vidro, totalmente transparente, numa habitação localizada no norte do país, mais propriamente em Melgaço (Figura 40), na freguesia de vila e roussas, sujeita a diferentes condições climáticas, com o objetivo de manter o conforto no interior.

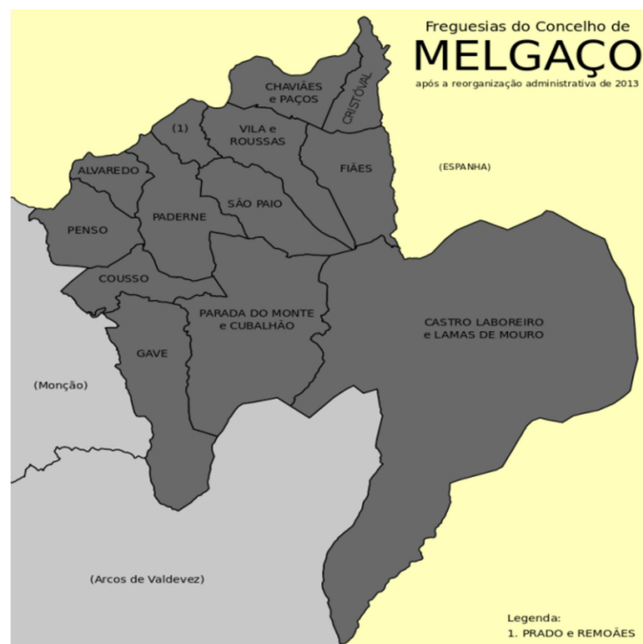


Figura 40 - Concelho de Melgaço.

O painel abrange o primeiro e segundo andar do imóvel, conforme as ilustrações seguintes, com 3,00 m de comprimento x 6 m de altura, com uma área total de 18 m².

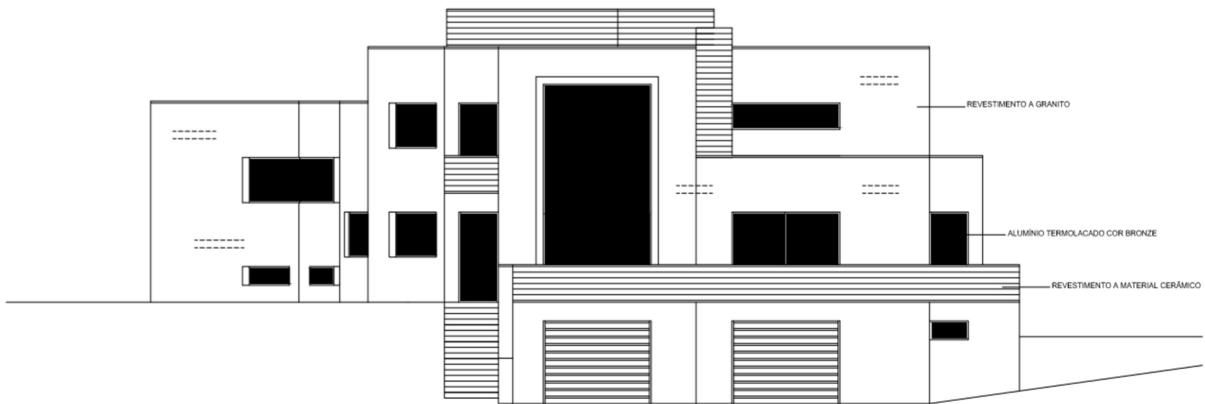


Figura 41 - Alçado poente (Em anexo página 119).

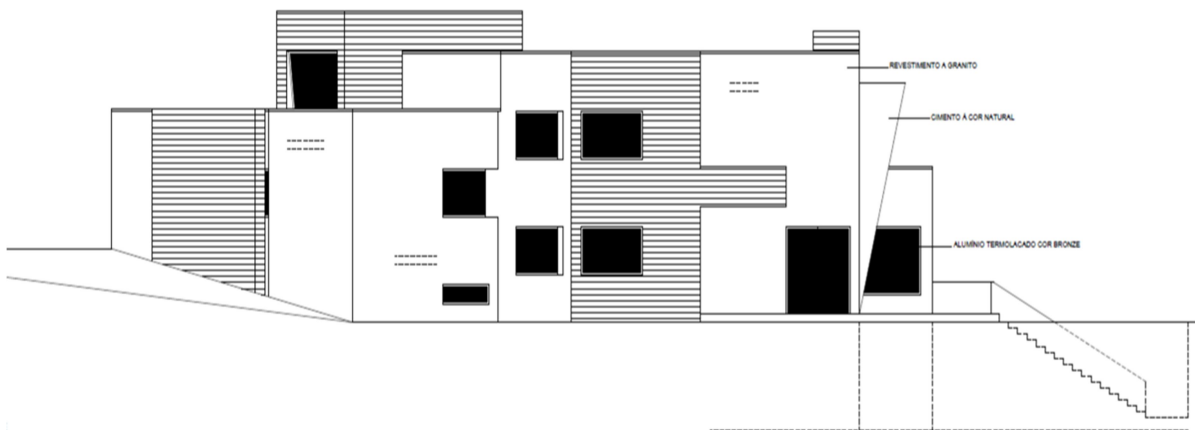


Figura 42 - Alçado norte (Em anexo página 119).

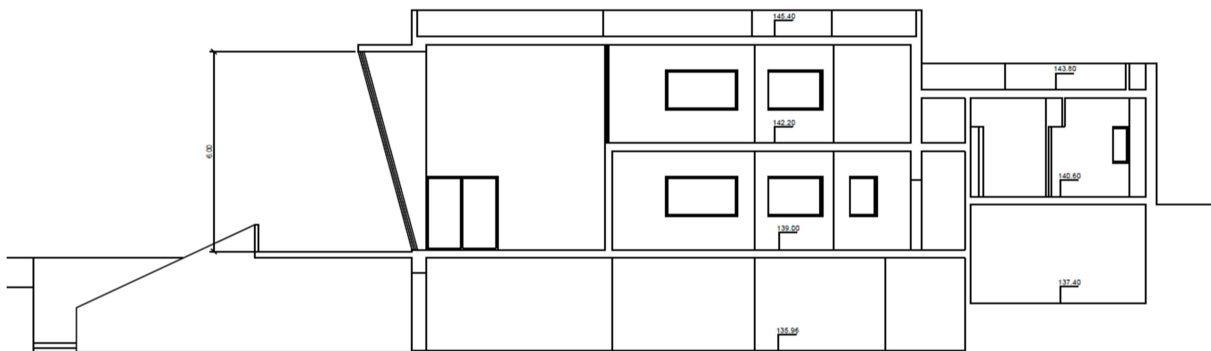
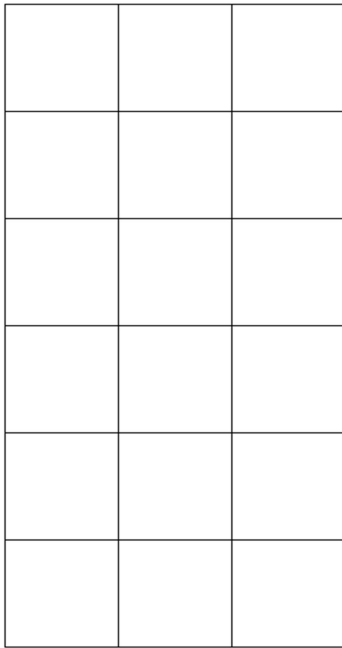
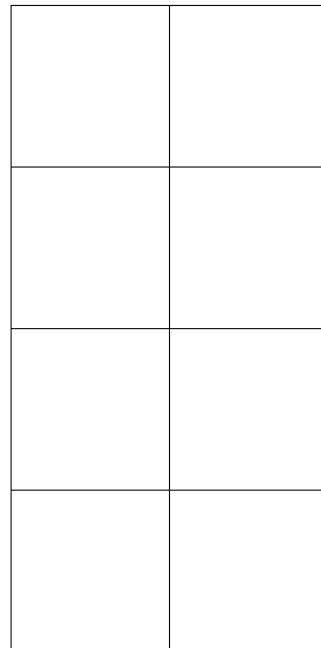


Figura 43 - Corte do alçado frontal (Em anexo página 119).

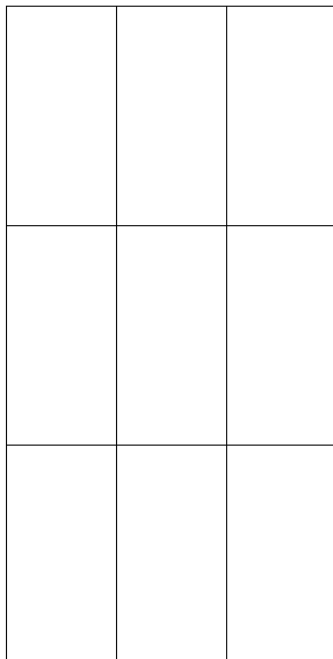
Solução A – L1 =1000 mm



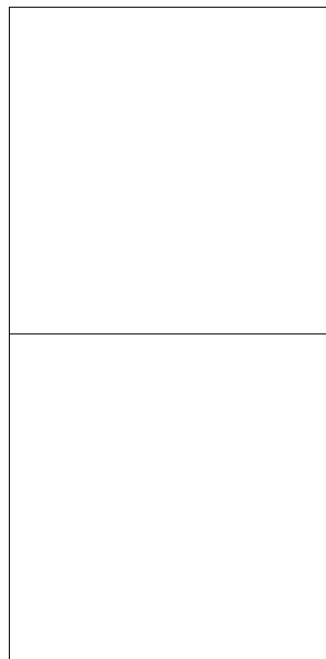
Solução B – L2=1500 m



Solução C – L3 =1000 mm L3.1= 2000 mm



Solução D – L4 =3000 mm



Assim, o painel a colocar no imóvel, de 3,00 m de comprimento x 6 m de altura, temos a solução A composta por 18 vidros, com a dimensão individual de 1 m x 1 m; solução B com 8 vidros, de 1,5 m x 1,5 m cada; solução C com 9 vidros, de 1 m x 2 m; e por fim a solução D que combina dois vidros de 3 m x 3 m.

5.2. ESCOLHA DOS MATERIAIS

Sendo um vidro exterior, torna-se necessário avaliar os prós e contras de cada alternativa tendo presente a importância de alcançar um compromisso entre a resistência mecânica e o comportamento pós-rotura. Para esta solução, optou-se pelo uso de vidro duplo, sendo este destinado fundamentalmente para fachadas em vidro, janelas, entre outros. A secção transversal é composta por um pano interior laminado designado por $h_2 + h_3$ (sendo este, mais resistente) e um pano exterior monolítico designado por h_1 (sendo que este é transformado em vidro temperado, para a segurança dos ocupantes). Esta é uma das soluções para o caso particular do vidro duplo, descrito no capítulo 3 (Figura 46).



Figura 46 - Corte do painel.

Para efeitos de cálculo, considera-se o vidro duplo como um único elemento em que, quando um dos panos é carregado deforma-se e, uma vez que o gás interior da caixa-de-ar está selado, assume-se que não existe variação volumétrica e o outro pano terá de se deformar na mesma medida para que o volume da caixa-de ar se mantenha constante.

Ambicionando-se uma solução que garanta simultaneamente a estética da habitação e o minimizar do impacto das condições exteriores, ao considerar a localização do imóvel, optou-se pela colocação de um caixilho fixo, ou seja, apoio contínuo sobre 4 lados. Foi a empresa talentinstantâneo-alumínios que facultou uma proposta para a colocação do caixilho para o tipo de vidro optado. A escolha recaiu para a hipótese de um caixilho de fachada semi-oculta (Em anexo página 105), que é utilizado neste tipo de decisão, como demonstra a Figura 47.

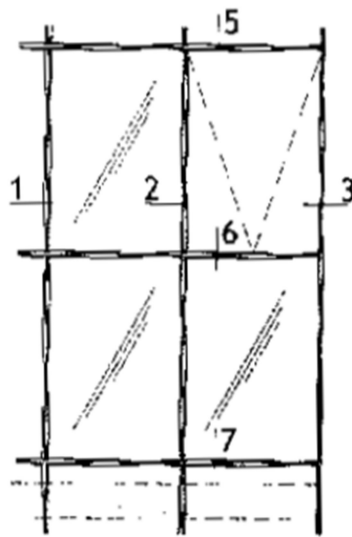


Figura 47 - Exemplo da caixilharia, fachada semi-oculta.(Em anexo página 107)

Através da Tabela 16, é possível visualizar as características e o preço total a ser empregue em cada solução mencionada anteriormente. A este preço é ainda acrescentado o valor da mão-de-obra, que corresponde à entrega no local e posterior colocação do vidro no caixilho, que representa um valor acrescido de 800€+iva.

Tabela 16 - Proposta apresentada para a caixilharia.

| Solução | Tipo de caixilho | Característica do caixilho | Preço total |
|---------|----------------------|--|-------------|
| A | Fachada semi- oculta | Resistência ao vento: Apto para 1500 Pa U=1,45 w/m ² K | 2500€ + IVA |
| B | Fachada semi- oculta | Resistência ao vento: Apto para 1500 Pa U=1,45 w/m ² K | 1900€ + IVA |
| C | Fachada semi- oculta | Resistência ao vento: Apto para 1500 Pa U=1,45 w/m ² K | 2000€ + IVA |
| D | Fachada semi- oculta | Resistência ao vento: Apto para 1500 Pa U=1,45 w/m ² K | 1200€ + IVA |

5.3. CÁLCULO DA PRESSÃO DO VENTO

A primeira etapa para o cálculo da espessura de vidro consiste em determinar a pressão do vento incidente na habitação, conforme os critérios estabelecidos pelo RSA. Para quantificarmos a ação do vento, consideramos:

- Zona A;
- Rugosidade do tipo I;
- $H=9,45$ m;
- Maior dimensão do edifício em planta, $a=26,91$ m;
- Menor dimensão do edifício em planta, $b=23,14$ m;
- $W_k=0,70$ KN/m² = 700 Pa.

Inicialmente é calculado a velocidade característica do vento, v , em m/s a partir de:

$$v = 18 \times \left(\frac{9,45}{10}\right)^{0,28} + 14 = 31,7 \text{ m/s}$$

Em seguida é determinado a pressão dinâmica do vento pela equação:

$$w = 0,613 \times (31,7)^2 = 616,7 \text{ Pa}$$

Assim:

$$\frac{h}{b} = \frac{9,45}{23,14} = 0,4; \quad \frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{26,91}{23,14} = 1,2; \quad 1 < 1,2 \leq \frac{3}{2}$$

Deste modo podemos retirar através da tabela que se entra no RSA os coeficientes de pressão exterior e interior. Foi optado dois coeficientes para a fachada exteriores e para o coeficiente interior as quatro fachadas com permeabilidade semelhante.

$$\delta_{pe} = 0,7$$

$$\delta_{pe} = -0.2$$

$$\delta_{pi} = -0.3$$

Após o cálculo da pressão dinâmica do vento, é possível então passarmos para o cálculo da pressão do vento através:

$$p = \delta_f \times w$$

$$p = (\delta_{pe} - \delta_{pi}) \times w$$

$$p_1 = (0,7 + 0.3) \times 616,7 = 616,7 \text{ Pa}$$

$$p_2 = (-0,2 + 0.3) \times 616,7 = 61,7 \text{ Pa}$$

$$p_t = 616,7 + 61,7 = 770 \text{ Pa}$$

A pressão do vento a considerar neste caso prático é de $P=770 \text{ Pa}$.

5.4. NORMA FRANCESA (NF DTU 38)

Tendo em consideração a variável calculada no ponto anterior, passamos de seguida a verificar, para cada solução, a conformidade da espessura do vidro de acordo com a norma francesa.

Solução A: Fator de equivalência para o vidro (1,0 m x 1,0 m). $P=770 \text{ Pa}$.

Para vidros apoiados em quatro bordos e para um vidro que não simples temos que:

$$\frac{L}{l} = \frac{1,0}{1,0} = 1 \text{ m} < 3 \text{ m}$$

$$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}}$$

Em que:

L , lado de maior da dimensão do vidro;

l , lado de menor da dimensão do vidro;

S , área do vidro;

P , pressão do vento;

ε , fator de equivalência para os vidros duplo é $\varepsilon_1 = 1,5$ e para vidro laminado é $\varepsilon_2 = 1,3$.

$$e_1 = \sqrt{\frac{(1,0 \times 1,0) \times 770}{72}} = 3,3 \text{ mm}$$

$$e = e_1 \times \varepsilon = 3,3 \times 1,5 = 5,0 \text{ mm}$$

Não sendo aconselhável ter diferenças acentuadas de espessuras entre panos que compõem um vidro duplo, devemos adotar as seguintes espessuras, consoante o que nos foi dado $e = 5,0 \text{ mm}$: $h_2 = h_3 = 4 \text{ mm}$ e $h_1 = 6 \text{ mm}$.

$$e_r \geq e_1 \times \varepsilon$$

$$\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1 \geq e_1 \times \varepsilon_1$$

$$\frac{4 + 4}{1,3} + 6 \geq 3,3 \times 1,5$$

$$12,2 \text{ mm} \geq 5,0 \text{ mm} \text{ OK!!}$$

Verificação da deformação:

A norma obriga a controlar a deformação do vidro. Deste modo devemos calcular uma espessura equivalente para o cálculo da flecha:

$$e_2 = \frac{\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1}{\varepsilon_1} = \frac{\frac{4 + 4}{1,3} + 6}{1,5} = 8,1 \text{ mm}$$

$$f = \alpha \times \frac{P}{1,2} \times \frac{b^4}{e_2^3} < \frac{1}{150}$$

$$f = 0,6571 \times \frac{770}{1,2} \times \frac{1,0^4}{8,1^3} < \frac{1,0}{150}$$

$$0,79 \text{ mm} < 6,7 \text{ mm OK!!}$$

Solução B- Fator de equivalência para vidro (1,5 m x 1,5 m). P=770 Pa.

$$\frac{L}{l} = \frac{1,5}{1,5} = 1 \text{ m} < 3 \text{ m}$$

$$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}} = \sqrt{\frac{(1,5 \times 1,5) \times 770}{72}} = 4,9 \text{ mm}$$

$$e = e_1 \times \varepsilon = 4,9 \times 1,5 = 7,4 \text{ mm}$$

Assumindo as seguintes espessuras $h_2 = h_3 = 4 \text{ mm}$ e $h_1 = 8 \text{ mm}$, temos:

$$e_r \geq e_1 \times \varepsilon$$

$$\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1 \geq e_1 \times \varepsilon_1$$

$$\frac{4 + 4}{1,3} + 8 \geq 4,9 \times 1,5$$

$$14,2 \text{ mm} \geq 7,4 \text{ mm OK!!}$$

Verificação da deformação:

$$e_2 = \frac{\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1}{\varepsilon_1} = \frac{\frac{4 + 4}{1,3} + 8}{1,5} = 9,4 \text{ mm}$$

$$f = \alpha \times \frac{P}{1,2} \times \frac{b^4}{e_2^3} < \frac{1}{150}$$

$$f = 0,6571 \times \frac{770}{1,2} \times \frac{1,5^4}{9,4^3} < \frac{1,5}{150}$$

$$2,6 \text{ mm} < 10 \text{ mm OK!!}$$

Solução C- Fator de equivalência para vidro (1,0 m x 2,0 m). P=770 Pa.

$$\frac{L}{l} = \frac{2,0}{1,0} = 2 \text{ m} < 3 \text{ m}$$

$$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}} = \sqrt{\frac{(1,0 \times 2,0) \times 770}{72}} = 4,6 \text{ mm}$$

$$e = e_1 \times \varepsilon = 4,6 \times 1,5 = 6,9 \text{ mm}$$

Assumindo as seguintes espessuras $h_2 = h_3 = 4 \text{ mm}$ e $h_1 = 6 \text{ mm}$, temos:

$$e_r \geq e_1 \times \varepsilon$$

$$\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1 \geq e_1 \times \varepsilon_1$$

$$\frac{4 + 4}{1,3} + 6 \geq 4,6 \times 1,5$$

$$12,2 \text{ mm} \geq 6,9 \text{ mm OK!!}$$

Verificação da deformação:

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,6429$$

$$e_2 = \frac{\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1}{\varepsilon_1} = \frac{\frac{4 + 4}{1,3} + 6}{1,5} = 8,1 \text{ mm}$$

$$f = \alpha \times \frac{P}{1,2} \times \frac{b^4}{e_2^3} < \frac{1}{150}$$

$$f = 0,6429 \times \frac{770}{1,2} \times \frac{1^4}{8,1^3} < \frac{1,0}{150}$$

$$0,8 \text{ mm} < 6,6 \text{ mm OK!!}$$

Solução D- Fator de equivalência para vidro (3,0 m x 3,0 m). P=770 Pa.

$$\frac{L}{l} = \frac{3,0}{3,0} = 1 \text{ m} < 3 \text{ m}$$

$$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}} = \sqrt{\frac{(3.0 \times 3.0) \times 770}{72}} = 9,8 \text{ mm}$$

$$e = e_1 \times \varepsilon = 9,8 \times 1,5 = 14,7 \text{ mm}$$

Assumindo as seguintes espessuras $h_2 = h_3 = 8 \text{ mm}$ e $h_1 = 14 \text{ mm}$ temos:

$$e_r \geq e_1 \times \varepsilon$$

$$\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1 \geq e_1 \times \varepsilon_1$$

$$\frac{8 + 8}{1,3} + 14 \geq 9,8 \times 1,5$$

$$26,3 \text{ mm} \geq 14,7 \text{ mm OK!!}$$

Verificação da deformação:

$$e_2 = \frac{\frac{h_2 + h_3}{\varepsilon_2} + h_1}{\varepsilon_1} = \frac{\frac{8 + 8}{1,3} + 14}{1,5} = 17,5 \text{ mm}$$

$$f = \alpha \times \frac{P}{1,2} \times \frac{b^4}{e_2^3} < \frac{1}{150}$$

$$f = 0,6571 \times \frac{770}{1,2} \times \frac{3,0^4}{17,5^3} = < \frac{3,0}{150}$$

$$6,4 \text{ mm} < 20 \text{ mm OK!!}$$

5.5. MÉTODO LNEC

Solução A - Fator de equivalência para vidro (1,0 m x 1,0 m). P=770 Pa.

$$e_1 = 3,3 \text{ mm}$$

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k_1 \times k_2$$

$K1=0,9$ (folha fixa)

$K2=1$ (superfície menor que 5 m^2)

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k1 \times k2 = 3,3 \times 0,9 \times 1 = 3,0 \text{ mm}$$

Independente deste resultado, o vidro simples deve satisfazer valores indicados pelo LNEC, para um vidro com largura maior ou igual a 1 m deve conter uma espessura mínima superior a 3 mm.

Para o caso do vidro duplo temos:

$$e_2 = e_{\text{vidro simples}} \times \varepsilon = 3 \times 1,5 = 4,5 \text{ mm}$$

Com base na espessura obtida de 4,5 mm, podemos adotar para um vidro duplo uma espessura (e') de $h1=4$ e $h2=h3=4$ (mm).

$$e_{eq} = 1,226 \times e' = 1,226 \times 4 = 4,9 \text{ mm}$$

$$e_{eq} \geq e_{\text{vidro simples}}$$

$$4,9 \text{ mm} \geq 3,0 \text{ mm OK!!}$$

De modo a se verificar a flecha temos:

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{1} = 1 \text{ m}$$

$\alpha = 0,044$, valor tabelado.

$E = 70 \text{ GPa}$

➤ Composição simétrica $h1=4$ e $h2=h3=4$ (mm):

$$e_{eq} = 1,146 \times e' = 1,146 \times 4 = 4,6 \text{ mm}$$

$$f = \frac{\alpha \times P \times l^4}{E \times e_{eq}^3} \leq \frac{L}{150}$$

$$f = \frac{0,044 \times 770 \times 1,0^4}{70 \times 4,6^3} \leq \frac{1,0}{150}$$

$$4,9 \text{ mm} \leq 6,7 \text{ mm OK!!}$$

Para efeitos comparativos, utilizamos a espessura que deu na norma francesa $h_1=6$ e $h_2=h_3=4$, deste modo vamos verificar a flecha:

$$e_{eq} = \sqrt[3]{\frac{e_e^3 + e_f^3}{1,33}} = \sqrt[3]{\frac{4^3 + 6^3}{1,33}} = 5,9 \text{ mm}$$

$$f = \frac{\alpha \times P \times l^4}{E \times e^3} \leq \frac{L}{150}$$

$$f = \frac{0,044 \times 770 \times 1,0^4}{70 \times 5,9^3} \leq \frac{1,0}{150}$$

$$2,3 \text{ mm} \leq 6,7 \text{ mm OK!!}$$

Solução B - Fator de equivalência para vidro (1,5 m x 1,5 m). $P=770$ Pa.

$$e_1 = 4,9 \text{ mm}$$

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k_1 \times k_2$$

$K_1=0,9$ (folha fixa)

$K_2=1$ (superfície menor que 5 m^2)

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k_1 \times k_2 = 4,9 \times 0,9 \times 1 = 4,4 \text{ mm}$$

Independente deste resultado, o vidro simples deve satisfazer valores indicados pelo LNEC, para um vidro com largura maior que 1,5 m deve conter uma espessura mínima superior a 5 mm. Neste caso, aumentamos a espessura para 5 mm.

Para o caso do vidro duplo temos:

$$e_2 = e_{\text{vidro simples}} \times \varepsilon = 5 \times 1,5 = 7,5 \text{ mm}$$

Com base na espessura obtida de 7,5 mm, podemos adotar para um vidro duplo uma espessura (e') de $h_1=6$ e $h_2=h_3=4$ (mm).

$$e_{eq} = e'_e \times \sqrt{\frac{e'^3_e + e'^3_f}{1,33 \times e'^3_e}} = 6 \times \sqrt{\frac{6^3 + 4^3}{1,33 \times 6^3}} = 5,9 \text{ mm}$$

$$e_{eq} \geq e_{vidro\ simples}$$

$$5,9\text{mm} \geq 4,4\text{ mm OK!!}$$

De modo a se verificar a flecha temos:

$$\frac{l}{L} = \frac{1,5}{1,5} = 1\text{ m}$$

$\alpha = 0,044$, valor tabelado.

$E = 70\text{ GPa}$

➤ Composição assimétrica $h_1=6$ e $h_2=h_3=4$ (mm):

$$e_{eq} = \sqrt[3]{\frac{e_e^3 + e_f^3}{1,33}} = \sqrt[3]{\frac{6^3 + 4^3}{1,33}} = 5,9\text{ mm}$$

$$f = \frac{\alpha \times P \times l^4}{E \times e^3} \leq \frac{L}{150}$$

$$f = \frac{0,044 \times 770 \times 1,5^4}{70 \times 5,9^3} \leq \frac{1,5}{150}$$

$$11,9\text{ mm} \leq 10\text{ mm KO!!}$$

Teríamos de aumentar a espessura, neste caso aumentamos para $h_1=8$ e $h_2=h_3=4$ (mm)

$$e_{eq} = \sqrt[3]{\frac{e_e^3 + e_f^3}{1,33}} = \sqrt[3]{\frac{8^3 + 4^3}{1,33}} = 7,6\text{mm}$$

$$f = \frac{\alpha \times P \times l^4}{E \times e^3} \leq \frac{L}{150}$$

$$f = \frac{0,044 \times 770 \times 1,5^4}{70 \times 7,6^3} \leq \frac{1,5}{150}$$

$$5,6\text{ mm} \leq 10\text{ mm OK!!}$$

A título de curiosidade e comparativo, verificamos que na solução B, no método do LNEC apresentou a mesma espessura que na forma francesa.

Solução C - Fator de equivalência para vidro (1,0 m x 2,0 m). P=770 Pa.

$$e_1 = 4,6 \text{ mm}$$

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k_1 \times k_2$$

K1=0,9 (folha fixa)

K2=1 (superfície menor que 5 m²)

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k_1 \times k_2 = 4,6 \times 0,9 \times 1 = 4,2 \text{ mm}$$

Independente deste resultado, o vidro simples deve satisfazer valores indicados pelo LNEC, para um vidro com largura maior que 2 m deve conter uma espessura mínima superior a 6 mm.

Para o caso do vidro duplo temos:

$$e_2 = e_{\text{vidro simples}} \times \varepsilon = 4,2 \times 1,5 = 6,3 \text{ mm}$$

Com base na espessura obtida de 6,3 mm, podemos adotar para um vidro duplo uma espessura (e') de h1=6 e h2=h3=4 (mm).

$$e_{eq} = e'_e \times \sqrt{\frac{e'^3_e + e'^3_f}{1,33 \times e'^3_e}} = 6 \times \sqrt{\frac{4^3 + 6^3}{1,33 \times 6^3}} = 5,9 \text{ mm}$$

$$5,9 \text{ mm} \geq 4,2 \text{ mm OK!!}$$

De modo a se verificar a flecha temos:

$$\frac{l}{L} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$\alpha = 0,044$, valor tabelado.

E= 70 GPa

➤ Composição assimétrica h1=6 e h2=h3=4 (mm):

$$e_q = \sqrt[3]{\frac{e_e^3 + e_f^3}{1,33}} = \sqrt[3]{\frac{6^3 + 4^3}{1,33}} = 5,9 \text{ mm}$$

$$f = \frac{\alpha \times P \times l^4}{E \times e^3} \leq \frac{L}{150}$$

$$f = \frac{0,044 \times 770 \times 1,0^4}{70 \times 5,9^3} \leq \frac{1,0}{150}$$

$$2,3 \text{ mm} \leq 6,7 \text{ mm OK!!}$$

A título de curiosidade e comparativo, ao verificar a espessura obtida na norma francesa $h1=6$ e $h2=h3=4$ (mm), verificamos que também mantivemos o mesmo resultado.

Solução D - Fator de equivalência para vidro (3,0 m x 3,0 m). $P=770$ Pa.

$$e_1 = 9,8 \text{ mm}$$

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k1 \times k2$$

$K1=0,9$ (folha fixa)

$K2=1$ (superfície menor que 5 m^2)

$$e_{\text{vidro simples}} = e_1 \times k1 \times k2 = 9,8 \times 0,9 \times 1 = 8,8 \text{ mm}$$

Independente deste resultado, o vidro simples deve satisfazer os valores indicados pelo LNEC, para um vidro com largura maior que 3 m, não se encontra definido a espessura de um vidro simples. Neste caso, não é possível calcular uma espessura para esta solução.

5.6. SOLUÇÃO APRESENTADA PELA VITROCHAVES

A Vitrochaves encontra-se certificada pela CERTIF, utilizando o vidro com critérios e tolerâncias fixados pelas correspondentes normas europeias EN para cada tipo de vidro. As normas EN aplicam-se no fabrico de todos os produtos, sendo efetuados controlos de qualidade que verificam o cumprimento dos critérios estabelecidos. Esta vidreira apresenta vários tipos de material consoante o tipo de obra e o que é pretendido. São inúmeros os produtos apresentados por esta empresa, que se encontram descritos na sua página, onde podemos visualizar a ficha técnica de cada solução e desta forma seleccionar qual o tipo de vidro adequado.

As normas adotadas estabelecem espessuras nominais e respetivas tolerâncias para cada tipo de vidro, dimensões e esquadrias, ou seja, já se encontram fixadas dimensões nominais para as espessuras pretendidas, em conformidade com os critérios estabelecidos nas normas e controlo de qualidade.

Existe assim, espessuras mínimas e máximas que são estabelecidas de acordo com o comprimento e largura. Para o vidro laminado as espessuras apresentadas nesta vidreira variam entre 3 mm a 6 mm sendo a folha intercalar PVB de 0,38 mm. Para um vidro monolítico as espessuras alteram entre 4 mm a 19 mm, dependendo do tipo de vidro monolítico requisitado, no caso de um vidro monolítico com controlo solar SOLARLUX só existe espessuras entre 6 mm a 10 mm. Já o vidro temperado é fabricado com espessuras nominais de 3 mm a 12 mm.

Para este caso prático a vidreira propôs dois tipos de vidro, que normalmente aplicam em fachadas exteriores, nomeadamente o ISOLAR GLAS e o SOLARLUX. Ambas as hipóteses vão de encontro ao pretendido quer a nível térmico, solar, acústico, segurança e estético.

O vidro ISOLAR GLAS é formado por dois ou mais vidros, separados entre si por um perfil de alumínio (intercalar – perfil separador) com um interior de tamis molecular que absorve a humidade residual, evitando possíveis condensações no interior da câmara-de-ar assim formada. Um vidro duplo ISOLAR GLAS, com uma câmara de 12 mm, proporciona um coeficiente de transmissão energética U de $2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ enquanto um simples vidro alcança um coeficiente de transmissão energética de $5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Com o vidro duplo ISOLAR GLAS reduz-se em cerca de 50% a perda de energia por transmissão através do vidro. A câmara pode também ser preenchida com um gás nobre para melhorar ainda mais o rendimento térmico.

Já o SOLARLUX, um vidro com características de proteção solar, garante uma temperatura ambiente equilibrada tanto no verão como no inverno, economizando energia, protegendo o ambiente e proporcionando assim os melhores coeficientes de transmissão térmica.

Segundo a Vitrochaves, só seria viável prosseguir com as hipóteses A, B ou C, uma vez que a hipótese D teria de vencer vãos de grandes dimensões (3 m x 3 m). Esta empresa não fabrica tais dimensões, sendo o seu máximo 6 m x 2,8 m.

Solução A

Tendo em conta as características de cada vidro apresentado pela Vitrochaves, para a solução A, utilizou-se o vidro de dimensão 1,0 m x 1,0 m, tendo as especificações (Em anexo página 111) um pano exterior SOLARLUX A 50 HT de 6 mm TEMPRES, câmara de 16 mm e pano interior multipact incolor 44.1 com aresta rocada industrial.

Tabela 17 - Proposta para a solução A apresentada pela Vitrochaves.

| Dados técnicos: vidro SOLARLUX A 50 HT 6 mm + gás + Multipact 44.1 | | |
|---|-------------------|----------------|
| Dimensões (mm) | 6/16/44.1 (Argon) | 6/16/44.1 (ar) |
| Peso e espessura | | |
| Espessura (mm) | 22,76 | 22,76 |
| Peso Kg/ m² | 40 | 40 |
| Propriedades mecânicas | | |
| Resistência anti agressões EN 356 | NPD/P2A | NPD/P2A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular EN 12600 | 1C1/1B1 | 1C1/1B1 |
| Propriedade térmica EN 673 | | |
| Coefficiente de isolamento térmico (W/ m². k) | 1,9 | 2.4 |
| Características luminosas EN 410 | | |
| Transmissão luminosa TL (%) | 51 | 51 |
| Reflexão luminosa | 18 | 18 |
| Reflexão luminosa interior | 12 | 12 |
| Índice de rendimentos das cores | NPD | NPD |
| Características energéticas EN 410 | | |
| Transmissão energética | 21 | 21 |
| Reflexão energética | 43 | 43 |
| Absorção energética | 37 | 37 |
| Fator solar g | 0,28 | 0,29 |
| Coefficiente sombra | 33 | 33 |
| Transmissão ultravioleta | NPD | NPD |
| Índice de seletividade | 1,8 | 1,7 |
| Preço €/m² | 91.50€ + iva | 83,50€ + iva |

Solução B

Para a solução B, optou-se também pelo uso do vidro de dimensão 1,5 m x 1,5 m, tendo as especificações (Em anexo página 111), um pano exterior SOLARLUX A 50 HT de 8 mm TEMPREX, câmara de 16 mm e pano interior multipact incolor 44.2 com aresta rocada industria.

Tabela 18 - Proposta para a solução B apresentada pela Vitrochaves.

| Dados técnicos: vidro SOLARLUX A 50 HT 8 mm + gás + Multipact 44.2 | | |
|---|-------------------|----------------|
| Dimensões (mm) | 8/16/44.2 (Argon) | 8/16/44.2 (ar) |
| Peso e espessura | | |
| Espessura (mm) | 22,76 | 22,76 |
| Peso Kg/ m² | 40 | 40 |
| Propriedades mecânicas | | |
| Resistência anti agressões EN 356 | NPD/P2A | NPD/P2A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular EN 12600 | 1C1/1B1 | 1C1/1B1 |
| Propriedade térmica EN 673 | | |
| Coefficiente de isolamento térmico (W/ m². k) | 1,9 | 2.4 |
| Características luminosas EN 410 | | |
| Transmissão luminosa TL (%) | 51 | 51 |
| Reflexão luminosa | 18 | 18 |
| Reflexão luminosa interior | 12 | 12 |
| Índice de rendimentos das cores | NPD | NPD |
| Características energéticas EN 410 | | |
| Transmissão energética | 21 | 21 |
| Reflexão energética | 43 | 43 |
| Absorção energética | 37 | 37 |
| Fator solar g | 0,28 | 0,29 |
| Coefficiente sombra | 33 | 33 |
| Transmissão ultravioleta | NPD | NPD |
| Índice de seletividade | 1,8 | 1,7 |
| Preço €/m² | 117,50€+iva | 109,50€+iva |

Solução C

Para a solução C, é utilizado o mesmo vidro e especificações que foi utilizado na solução A.

Solução D

Verificou-se que a empresa Vitrochaves não fabrica as dimensões indicadas na solução D, sendo possível apenas a solução A, B e C.

Verificamos assim, que o gás Argon tem um preço mais elevado, cerca de 8€ / m². Este material tem um melhor desempenho quando aplicado. Podemos ainda visualizar que ao aumentar a espessura do

vidro temperado, as características deste material se mantem. Ainda assim, pode ser adicionado valores extras consoante o pedido e a estrutura em que o vidro será fixado. Através da tabela seguinte, é dado o valor dos custos adicionais.

Tabela 19 - Valores adicionais ao vidro.

| Adicionais por forma | | €/m ² |
|--|------|-------------------------|
| Calcula-se em percentagem sobre o valor m ² quando superior ao mínimo | | Faturação mínima (+iva) |
| Cada ângulo diferente 90° | 10% | 3,01€ |
| Cada canto curvo | 30% | 4,21€ |
| Cada lado curvo | 50% | 12,02€ |
| Circulo | 100% | 24,04€ |
| Cada corte interior | 100% | 29,45€ |
| Cada furo | 150% | 30,05€ |

O valor a faturar é resultante das dimensões do retângulo em que a forma se insere.

5.7. ANÁLISE ECONÓMICA E DOS RESULTADOS OBTIDOS

Após o cálculo para obter as espessuras de cada fórmula que rege a norma francesa e o LNEC, foram encontradas várias discordâncias quando comparadas com a solução apresentada da Vitrochaves.

Tabela 20 - Análise de cada método apresentado.

| Quadro resumo | | | | |
|-------------------------------|---|-----------|-----------|------------|
| | Norma Francesa | | | |
| Tipologia | Solução A | Solução B | Solução C | Solução D |
| Espessura (e) | 6+44.1 mm | 8+44.1 mm | 6+44.1 mm | 16+88.2 mm |
| Verificação da deformação (f) | 0,79 mm | 2,6 mm | 0,8 mm | 6,4 mm |
| Vantagens | Fácil utilização e interpretação; Valores aproximados aos que foram apresentados numa vidreira. | | | |
| Desvantagens | Insuficiente justificação teórica; Aplicável em poucos tipos de vidro; Para os vidros laminados não existe regras quanto a espessura da película. | | | |

| Método LNEC | | | | |
|--------------------------------------|--|-------------------|-------------------|---|
| Espessura (e) | 4+44.1 mm | 8+44.1 mm | 6+44.1 mm | Não é possível o cálculo. |
| Verificação da deformação (f) | 4,9 mm | 5,6 mm | 2,3 mm | |
| Vantagens | Fácil interpretação; | | | |
| Desvantagens | Espessuras totais mais baixas; utiliza poucos tipos de vidro, vidro duplo ou laminado sendo este, simétrico ou assimétrico. | | | |
| Método Vitrochaves | | | | |
| Espessura (e) | 6 mm + gás + 44.1 | 8 mm + gás + 44.2 | 6 mm + gás + 44.1 | Não é possível, as dimensões máximas são: 6000 mm x 2800 mm |
| Vantagens | Mais rápido; menos trabalhoso; está normalizado consoante as normas em que controla a qualidade e verifica o cumprimento dos critérios estabelecidos; certificado pela CERTIF. | | | |
| Desvantagens | Mais dispendioso; trabalha com espessuras já pré-definidas. | | | |

Para verificarmos qual a melhor solução a nível económica, segue-se a seguinte tabela:

Tabela 21 - Análise económica de cada solução.

| Solução económica | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Solução A | | Solução B | | Solução C | |
| | m² (1 m x 1 m) | m² (1,5 m x 1,5 m) | m² (1,5 m x 1,5 m) | m² (1,5 m x 1,5 m) | m² (1,0 m x 2,0 m) | m² (1,0 m x 2,0 m) |
| Preço do vidro (+iva) | 91,50€ | 117,50€ | 176,24€ | 91,50€ | 183€ | |
| Peças de vidro | 18 | | 8 | | 9 | |
| Preço de caixilharia | 2.500 € | | 1.900 € | | 2.000€ | |
| Mão-de-obra para a montagem | 800 | | 800 | | 800 | |
| Total (+ iva) | 4.947 € | | 4,110 € | | 4,447 € | |

Deste modo, conclui-se que a hipótese economicamente mais vantajosa é a Solução B. Embora as normas existentes possa auxiliar a decisão, quando entramos em contacto com as vidreiras, estas só comercializam espessuras pré-definidas consoante as dimensões do vidro e a sua utilização, e acabam por optar para soluções mais vantajosas para si. Deste modo, com o conhecimento adequado, é possível tomar uma decisão mais consciente e não apenas confiar no que nos propõem.

5.7.1. APLICAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE VIDRO

Como já referido anteriormente a vidreira vitrochaves apresenta várias soluções para cada tipo de necessidade. Para um vidro exterior numa habitação ao consultar a Vitrochaves, verificou-se que os vidros isolar multipact são utilizados para uma proteção de uma habitação no que diz respeito à tentativa de forçar a entrada. O vidro TEMPREX é um vidro de proteção e de elevada resistência que em caso de quebra, desfragmenta-se em pedaços pequenos proporcionando a capacidade de corte reduzida. Deste modo, a solução adequada foi um vidro duplo (ISOLAR GLAS) composto por um pano laminado (multipact) e outro pano com um vidro simples temperado (temprex).

Neste subcapítulo iremos visualizar outras soluções para o vidro exterior, tais como, vidro colorido, serigrafado, fosco, impresso e aramado. O vidro colorido (Em anexo página 111) foi o único a ser analisado em laboratório alemão, sendo que os restantes vidros por questões alheias não foram possíveis de analisar, ainda assim, são possíveis de aplicar na fachada. No entanto foi obtido o valor monetário por metro quadrado destes, que se encontram na Tabela 22.

Tabela 22 - Valor associado aos diferentes tipos de vidro.

| Características | Composição | | | |
|-------------------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|
| | Vidro translúcido | Vidro colorido | Vidro impresso | Vidro serigrafado |
| Preço (m ²) | 135,50€+iva | 195,50€+iva | 130,50€+iva | 180,50€+iva |

Deste modo iremos averiguar se os vários tipos de vidro colorido pode ou não de alguma forma modificar os parâmetros podendo tornar o caso mais vantajoso. A Tabela 23 apresenta a composição e o preço que os diferentes tipos de vidros possuem.

Tabela 23 - Comparação entre vidro escolhido e o vidro colorido.

| Características | Composição | | | | | |
|---------------------------------------|------------|--------------------|---------------|-------------|----------------|--------------|
| | | Vidro da Solução C | Vidro Incolor | Vidro Verde | Vidro Cinzento | Vidro Bronze |
| Transmissão | Visível | 51 | 53 | 44 | 26 | 29 |
| | Solar | 22 | 26 | 19 | 13 | 14 |
| Reflexão | Visível | Pv | 18 | 18 | 14 | 8 |
| | | pvi | 12 | 12 | 12 | 11 |
| | Solar | 43 | 31 | 11 | 13 | 14 |
| Absorção | | 36 | 43 | 70 | 73 | 72 |
| U | | 1.3 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Fator solar | | 29 | 28 | 22 | 17 | 18 |
| Coefficiente de sombra | | 32 | 32 | 26 | 19 | 20 |
| Acústica | | NPD | NPD | NPD | NPD | NPD |
| Índice de rendimento das cores | | NPD | 94 | 86 | 91 | 93 |
| Preço (+iva) | | 91,50€ | 195,50€ | 195,50€ | 195,50€ | 195,50€ |

Analisando a tabela anterior, pode ser visualizado que do ponto de vista térmico, as alternativas expostas não prejudicam nas perdas de energia, apenas alteram as características a nível de ganhos de energia, pois vão impedir entrada de luz e calor. A nível económico, torna-se uma desvantagem pois é mais dispendioso escolher um vidro com cor.

5.8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E DECISÃO FINAL

A Norma francesa DTU 39 quando comparada com os resultados apresentados pela vidreira mostra ser um método aceitável, pois apresentou espessuras idênticas à Vitrochaves, embora este método de cálculo de espessura empírico tenha insuficiente justificação teórica. Tem como vantagem a fácil utilização e interpretação aplicando apenas fórmulas e verificando se a flecha é aceitável ou não. A desvantagem é que este método não entra em linha de conta com outro tipo de vidro que poderia ser utilizado, nem com o tipo de película, retirando assim aos projetistas a possibilidade de tirar melhor partido da capacidade resistente dos materiais.

Já o método do LNEC, apresenta-nos espessuras totais mais baixas que a norma francesa, embora na solução B e C as espessuras tenham sido as mesmas e deste modo é aceitável dentro das suas regras. Tem como vantagem fácil interpretação, sendo que utiliza poucos tipos de vidro e espessuras equivalentes que tal como a norma francesa a sua verificação à flecha dá-nos o veredito final, caso a espessura não seja adequada. A desvantagem desta norma é que apenas trabalha com vidro duplo ou laminado simétrico ou assimétrico, ou seja, impossibilita a utilização de outro tipo de vidro. Verificou-se também que na flecha, para as mesmas espessuras, seguindo a norma francesa é ligeiramente superior. Outra das desvantagens é que neste método, as soluções são obtidas por tentativa e erro, enquanto na norma francesa são aplicadas espessuras “por excesso”.

Pela norma francesa DTU 39, a solução D seria possível, pois as espessuras apresentadas estão de acordo com o pretendido. No entanto, depois de contactada a empresa Vitrochaves, verificou-se que esta não trabalha com tais dimensões, sendo possível apenas a solução A, B ou C tal como no método do LNEC.

Após a realização de uma análise comparativa onde inclui diversos tipos de vidro e preço para o caso prático apresentado, a decisão final dada pela vidreira como a melhor e única solução para ter o máximo de transparência possível foi a solução C, tendo esta sido aceite pelo dono de obra. A Figura 48 mostra o resultado final do vidro já empregue na fachada da moradia localizada em Melgaço.



Figura 48 - Resultado final.

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. CONCLUSÕES

A crescente utilização do vidro para fins arquitetónicos inspirou e motivou a presente dissertação, estimulando igualmente, o interesse em compreender todo o processo de introdução deste material na indústria da construção civil. Este trabalho implicou, por um lado, uma extensa pesquisa de conteúdo, principalmente no que diz respeito à regulamentação e especificações deste material, e por outro, a consulta de vidreiras, sendo esta última tarefa por vezes ingrata face à recusa de algumas entidades em colaborar com a prestação gratuita de informação e tempo.

Apesar de apresentado sob diversas formas e de proporcionar uma multiplicidade de aplicações na construção civil, o conhecimento sobre este material, por parte dos engenheiros civis e arquitetos, ainda apresenta algumas limitações, uma vez que grande parte da informação é detida pelas vidreiras. Esta dissertação procura assim, de algum modo, consciencializar esses técnicos para a necessidade de aprofundar cada vez mais os seus conhecimentos sobre este material, que apresenta um grande potencial, permitindo não só um melhor aproveitamento da luz natural e conseqüentemente redução de gastos energéticos, como também conferir uma beleza inigualável aos espaços, assegurando simultaneamente os níveis de segurança pretendidos.

Pela pesquisa bibliográfica, foi possível constatar a crescente utilização do vidro nos últimos anos, coincidindo com a evolução registada em termos tecnológicos, passando de um simples material para um bem variado e multifuncional.

Embora tenha registado uma evolução assinalável, a informação sobre este material ainda é escassa, alguma dela em fase de desenvolvimento, sendo que alguns estudos e normas sobre esta matéria só podem ser acedidos mediante pagamento, facto que restringe o seu acesso a quem ainda não possui a estabilidade financeira desejada que permita saciar a necessidade de aprofundar o saber sobre este

material atrativo. Esta limitação dificultou a consulta às normas técnicas de fabricação e aplicação do vidro, bem como aos manuais técnicos das vidreiras.

Na análise e dimensionamento das estruturas em vidro, foi possível constatar que esta encontra-se disciplinada por diversas normas internacionais, tendo-se procurado aprofundar o conhecimento sobre a grande variedade e complexidade de variáveis inerentes a essa regulamentação.

Atualmente, a indústria do vidro procura desenvolver materiais e revestimentos mais eficientes, procurando alcançar valores do coeficiente de transmissão térmica, U, mais reduzidos, no sentido de responder às necessidades do conforto do utilizador e à alteração das condições atmosféricas adversas do exterior.

Face à diversidade de produtos oferecidos pelas vidreiras, conclui-se que é fundamental conhecer as necessidades da obra e as características técnicas de cada vidro, por forma a decidir conscientemente sobre o material mais adequado, extraíndo dele a maior eficácia e eficiência.

Este trabalho procurou apresentar soluções em termos de espessuras, comprimentos e largura do vidro na construção civil, mediante a aplicação prática de uma fachada, que teve em consideração a norma francesa DTU 39, o método do LNEC e a informação disponibilizada pela vidreira VitroChaves.

A Norma Francesa DTU 39 utiliza aproximações de fácil utilização e interpretação e rapidamente se verifica o correcto ou incorrecto dimensionamento do vidro. Os resultados fornecidos para a deformação máxima acabam por ser aceitáveis quando comparados com os fornecidos por uma Vidreira. Esta norma revela assim ser conservativa, baseando-se num método de cálculo de espessuras empírico e com insuficiente justificação teórica.

Quando é utilizado as fórmulas resistentes e equivalentes do método do LNEC verifica-se que as espessuras tendem a ser reduzidas.

Relativamente à vidreira, que rege-se pelas várias normas europeias, apenas pela consulta ao seu manual de qualidade, foi possível aferir as espessuras e tolerâncias para cada tipo de vidro. Verificou-se ainda os vários tipos de material que podem ser utilizados, facto de relevo, uma vez que as outras técnicas não fornecem informação adicional sobre as variedades de vidro existentes.

Com este estudo, verificou-se pela fórmula da norma francesa, que a melhor solução por questões económicas, de conforto e segurança é a solução B, embora tenha sido a solução C, adotada pela vidreira e deste modo aceite pelo dono de obra.

6.2. PERSPECTIVAS FUTURAS

A fim de contribuir para estudos futuros relacionados com a aplicação do vidro na construção civil e, desta forma completar o estudo realizado nesta dissertação, sugere-se levar a cabo alguns trabalhos que permitiriam uma avaliação mais completa acerca do tema.

Nesse sentido, apresentam-se seguidamente algumas sugestões:

- No seguimento desta dissertação, seria interessante testar as soluções de ambos os métodos em laboratório a fim de comprovar os resultados obtidos e comparar com os resultados de uma vidreira, a nível das propriedades mecânicas, térmicas, características luminosas e energéticas;
- Realizar um estudo comparativo entre as várias soluções e sistemas de aplicação para vidros;
- Outra mais valia seria efetuar uma análise computacional de maneira a aferir sobre uma estrutura adequada com perfis metálicos, permitindo sustentar o vidro com fixação pontual aparafusada visto ser uma solução mais presente nos dias de hoje;
- Uma vez estudado nesta dissertação um paramento vertical, ou seja, uma fachada, seria interessante utilizar um caso de estudo para um paramento horizontal, pavimento ou cobertura.

REFERÊNCIAS

1. Jornal do vidro. [Online] 30 de 06 de 2015. [Citação: 27 de 02 de 2017.] <https://www.jornaldovidro.com.br/single-post/2015/06/30/Hist%C3%B3ria-do-Vidro-parte-5>.
2. **Schittch, Christian, et al., et al.** *Glass Construction Manual*. 2007.
3. **impresso, Revista vidro.** Vidro impresso. [Online] 14 de 10 de 2015. [Citação: 27 de 02 de 2017.] <http://www.vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/a-verdadeira-casa-de-vidro>.
4. [Online] [Citação: 01 de 03 de 2017.] <http://www.novayorkparabrasileiros.com/apple-store-em-nova-york/>.
5. [Online] [Citação: 01 de 03 de 2017.] <https://www.dicasnewyork.com.br/2015/02/loja-apple-store-quinta-avenida-em-nova-york.html>.
6. **VITROCHAVES.** VITROCHAVES, indústria de vidro. [Online] [Citação: 05 de 02 de 2017.] <http://www.vitrochaves.com/?lang=pt>.
7. madeiraluxurytravel. *Miradouro do cabo girao*. [Online] [Citação: 01 de 03 de 2017.] <https://www.madeiraluxurytravel.pt/index.php/en/madeira/a-visitar/item/17-miradouro-do-cabo-girao>.
8. **Viana, Taís.** Apostila de vidros. Materiais de construção. Edificações. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia. Outubro de 2010.
9. **Saint-Gobain.** *Manual do Livro*. 2000.
10. **João, Martins e Pinto, Emanuel.** *Materiais de Construção. O Vidro*. 2004.
11. **Wurm, Jan.** *Glass Structures. Design and construction of self-supporting skins*. Berlin : s.n.
12. **Haldimann, Matthias, Luble, Andreas e Overend, Mauro.** *Structural use of Glass*. 2007.
13. **Pinto, Armando.** "Componentes de edificios.Aspectos de segurança e resistencia mecânica do vidro", edição LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 2012.

14. —. *"Caixilharia de edifícios. Aspectos de segurança e resistência do vidro"* , edição LNEC-Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
15. **pmscrapbooking.com**. [Online] <http://www.pmscrapbooking.com/balcao-cozinha-americana-tijolo-de-vidro/>.
16. **Moura, Ana Rita**. Fachadas em Vidro Exterior Agrafado. 2005. Documento apresentado em Mestrado em Construção civis. FEUP. Porto. Portugal.
17. [Online] [Citação: 17 de 05 de 2017.] <http://www.qualviagem.com.br/tem-coragem-de-caminhar-pela-ponte-de-vidro/>.
18. **Henriques, Pedro Daniel**. Comportamento ao fogo do vidro estrutural. 2010. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro. Portugal.
19. **Faustino, Claudio Ribeiro**. Influência dos vãos envidraçados no desempenho energético de edifícios. 2012. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto superior técnico. Universidade técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal.
20. **ISEL**. Tecnologia da Construção e dos Processos Construtivos 2.
21. RCCTE- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. [Online] Diário da república- I série A, nº67- 4 de Abril de 2006. <http://www.rccte.com/download-rccte>.
22. **Pinheiro, Fabio**. Evolução do uso do vidro como material de construção civil. São Francisco : s.n., 2007. Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau Mestre em Engenharia Civil. Faculdade de São Francisco.
23. BS EN 12600 - Glass in Building - Pendulum test - Impact test metho and classification for flat glass . 2002.
24. [Online] [Citação: 05 de 01 de 2018.] <https://i.ytimg.com/vi/IN0LEhIMb7k/maxresdefault.jpg>.
25. **Sanches, José Maria**. Análise e Dimensionamento de Sistemas Estruturais de Vidro. 2013. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal.
26. **SERC**. SERC evolução. [Online] 05 de 2017. [Citação: 18 de 10 de 2018.] http://www.sercevolucao.com/portugues/ppci/SERC-Euroclasses_de_reacao_ao_fogo-05_2017.pdf.

27. Decreto-Lei n.º 220/2008. Diário da República n.º 220/2008, Série I de 2008-11-12.
28. **Ramalheira, Francisco José.** Manual de boas práticas de escolha de vãos envidraçados. Exigências Funcionais de Vãos Envidraçados. Porto : s.n., 2005. Departamento de Engenharia Civil. Mestrado/Especialização em Construção de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. Portugal.
29. Viscar- Transformação de vidro. Marcação CE. [Online] [Citação: 07 de 07 de 2017.] <http://vicar.pt/certificacoes.html>.
30. NF DTU 39 P4 - Travaus de vitrerie miroiterie. Partie4: Mémento calculs pour le dimensionnement des vitrages. Octobre 2006.
31. **Bogas, Joana.** Fachada de vidro. Explorar os limites da utilização do vidro na construção. 2011. Dissertação de Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade do Minho. Minho. Portugal.
32. **Pereira, Sónia.** Estudo do Comportamento Estrutural de Fachadas em Vidro. 2012. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Faculdade de ciências e tecnologias.Universidade nova de Lisboa. Lisboa. Portugal.
33. **Romão, Filipe.** Controlo Estrutural de uma Fachada de Vidro Suspensa, sujeita à acção da explosão. 2014. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil- Perfil de estruturas.Faculdade de ciências e tecnologias.Universidade nova de Lisboa. Lisboa. Portugal.
34. **Patterson, Michael.** Structural glass facades: a unique building technology. 2008. Requiriments for the degree Master of building science. University of southern California.
35. História do vidro. [Online] [Citação: 01 de 02 de 2017.] <http://educa.fc.up.pt/ficheiros/fichas/1079/Hist%F3ria%20do%20vidro.pdf>.
36. RSA- Regulamento de segurança e ações para estruturas de edifícios e pontes. Detreto- lei nº 235/83, de 31 de Maio.
37. **noctula.** [Online] <http://noctulachannel.com/sistema-de-aquecimento-telhas-vidro/>.

ANEXOS

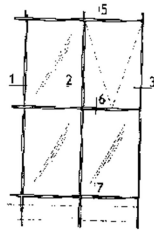
Anexo A – Ficha técnica do caixilho

Anexo B – Ficha técnica da Vitro chaves

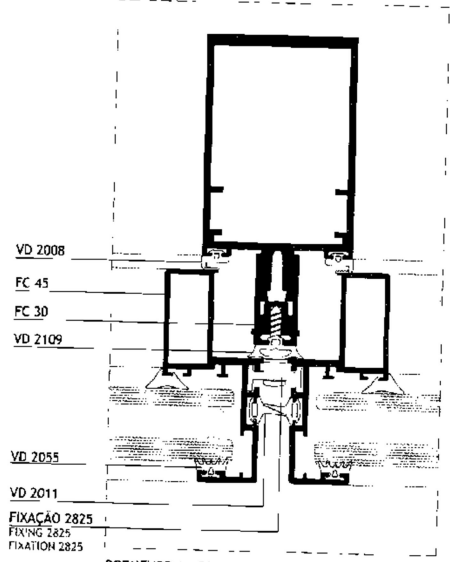
Anexo C – Plantas da habitação em estudo

Anexo A – Ficha técnica do caixilho

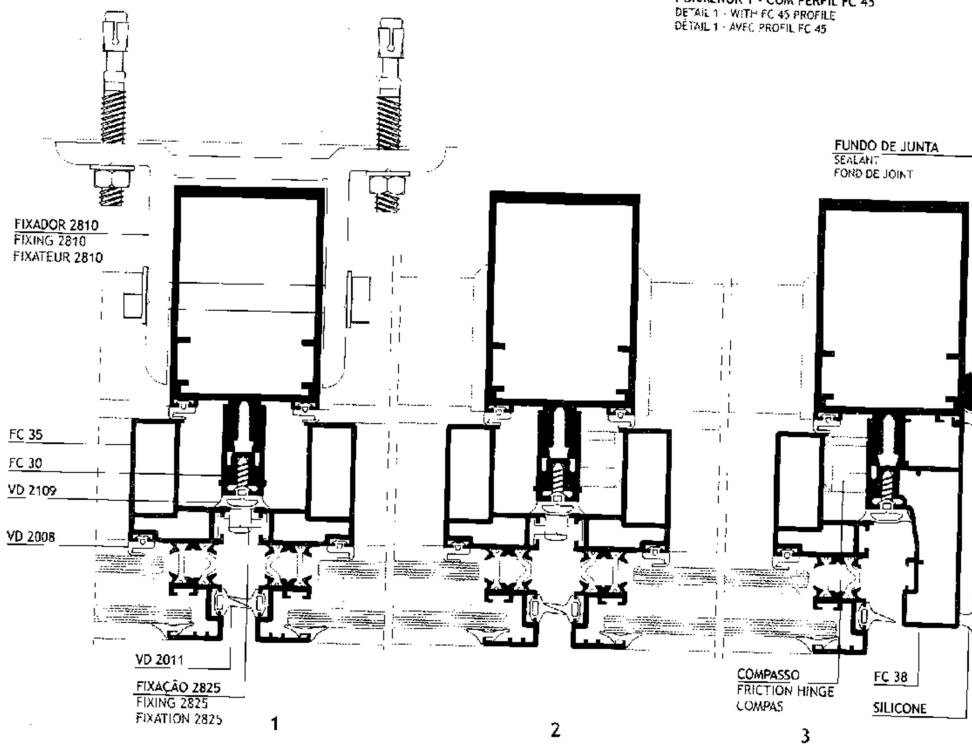
FACHADA SEMI-OCULTA
 SEMI STRUCTURAL GLAZING CURTAIN WALL
 MUR RIDEAU V.E.P.



PORMENORES 1 A 3
 DETAILS 1 TO 3
 DÉTAIL 1 À 3



PORMENOR 1 - COM PERFIL FC 45
 DETAIL 1 - WITH FC 45 PROFILE
 DÉTAIL 1 - AVEC PROFIL FC 45



PORMENORES INFORMATIVOS. PARA PROJECTOS ESPECÍFICOS, CONSULTAR O NOSSO DEPARTAMENTO TÉCNICO.
 INFORMATIVE DETAILS. FOR SPECIFIC PROJECTS CONSULT OUR TECHNICAL DEPARTMENT.
 DÉTAILS INFORMATIFS. POUR DES PROJETS SPECIFIQUES CONSULTER NOTRE DÉPARTAMENT TECHNIQUE.

ESC: 1/2

Características do Sistema

System features

Caractéristiques du système

Grande versatilidade funcional que permite dar resposta às mais exigentes estruturas arquitetónicas. Com a fiabilidade estrutural assumida, são oferecidas várias imagens de apresentação que vão ao encontro das necessidades do mercado:

Great functional versatility which allows an answer to the most demanding architectural structures. Together with the structural reliability, several aspects are offered to meet the needs of the market.

Grand adaptabilité fonctionnelle qui permet donner réponse aux structures architecturales plus exigeantes. Avec une fiabilité structurale assumée, sont offerts plusieurs images de présentation qui répondent aux besoins du marché.



FC Estrutural | Capped curtain wall | Mur-rideau trame traditionnelle

| | |
|------------------------|---|
| Capas: | Vistas retas ou Redondas em montantes e travessas |
| Cover caps: | Straight or Round views on mullions and transoms |
| Couvertures: | Vues Droits ou Arrondie dans les montants et traverses |
| Enchimento: | De 12 a 47mm |
| Filling: | From 12 to 47mm |
| Remplissage: | De 12 à 47mm |
| Aberturas: | Batente (int./ext.) com perfil visível Projetante com caixilho móvel (oculto pelo exterior) |
| Openings: | Opening (in/out) with visible profile Awning with movable frame (concealed from outside) |
| Ouvertures: | Ouvrant (int./ext.) avec profil visible À l'italienne, avec châssis mobile (caché de l'extérieur) |
| Peso máximo: | 150Kg/folha (Janela projetante) |
| Maximum weight: | 150Kg/leaf (Awning opening) |
| Poids maximale: | 150Kg/vantail (Fenêtre à l'italienne) |

FC Horizonte | Horizontal capped curtain wall | Mur-rideau trame horizontale

| | |
|------------------------|---|
| Capas: | Decorativas, horizontal contínuas |
| Cover caps: | Decorative, horizontal continuous |
| Couvertures: | Décorative, horizontale continue |
| Enchimento: | De 12 a 47mm |
| Filling: | From 12 to 47mm |
| Remplissage: | De 12 à 47mm |
| Vedação: | Junta vertical em EPDM |
| Filling: | EPDM vertical joints |
| Remplissage: | Joint vertical en EPDM |
| Aberturas: | Projetante com caixilho móvel (oculto pelo exterior) |
| Openings: | Awning with movable frame (concealed from outside) |
| Ouvertures: | À l'italienne, avec châssis mobile (caché de l'extérieur) |
| Peso máximo: | 150Kg/folha (Janela projetante) |
| Maximum weight: | 150Kg/leaf (Awning opening) |
| Poids maximale: | 150Kg/vantail (Fenêtre à l'italienne) |

FC Semi Oculta | Semi structural glazing curtain wall | Mur-rideau V.E.P.

| | |
|------------------------|---|
| Vistas: | Vistas visíveis pelo exterior de 12mm ou 20mm |
| Views: | Visible views from outside with 12mm or 20mm |
| Vues: | Vues visibles de l'extérieur de 12mm ou 20mm |
| Enchimento: | De 6 a 30mm |
| Filling: | From 6 to 30mm |
| Remplissage: | De 6 à 30mm |
| Aberturas: | Projetantes |
| Openings: | Awning |
| Ouvertures: | À l'italienne |
| Peso máximo: | 150Kg/folha (Janela projetante) |
| Maximum weight: | 150Kg/leaf (Awning opening) |
| Poids maximale: | 150Kg/vantail (Fenêtre à l'italienne) |

FC Oculta | Structural glazing curtain wall | Mur-rideau V.E.C.

| | |
|------------------------|---------------------------------------|
| Vistas: | Sem vistas pelo exterior |
| Views: | No views from outside |
| Vues: | Pas de points de vue de l'extérieur |
| Enchimento: | De 6 a 30mm |
| Filling: | From 6 to 30mm |
| Remplissage: | De 6 à 30mm |
| Aberturas: | Projetantes |
| Openings: | Awning |
| Ouvertures: | À l'italienne |
| Peso máximo: | 150Kg/folha (Janela projetante) |
| Maximum weight: | 150Kg/leaf (Awning opening) |
| Poids maximale: | 150Kg/vantail (Fenêtre à l'italienne) |

Qualanod
Licença nº. 1426 - Metaliter
Licença nº. 1411 - Alfa Sul

Licença nº. 805





Desempenho do sistema
System performance
Performance du système

| | | |
|--|---|--|
| Marcação CE CE Marking Marquage CE NP EN 14351-1 | Fachada Estrutural Fachada Horizonte - 5110 x 6250mm Capped curtain wall Horizon capped curtain wall - 5110 x 6250mm Mur rideau traditionnelle Mur rideau trame horizontal - 5110 x 6250mm | |
| | 1 Projetante + 1 Oscilo-batente 1 glazing frame + 1 fixed glazing frame 1 contact à freinage + 1 ventral Oscillo-Battant | Vão fixo Fixed frame Cadre fixe |

| | | |
|--|--|--|
| Permeabilidade ao AR (UN-EN 12153:2000) AIR Permeability Perméabilité à l'Air | A3 | A4 |
| Estanquidade à ÁGUA (UN-EN 12155:2000) WATER Tightness Étanchéité à l'EAU | RE 1050 | RE 1500 |
| Resistência ao VENTO (UN-EN 12179:2001) WIND Resistance Résistance au VENT | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE |
| Coef. Transm. TÉRMICA (UN-EN 13947:2005) THERMAL Transmittance Coef. de Transmission THERMIQUE | Uw = 1,43 W/m² K Ug (vidro 8+16+6) = 1,3W/m² K Ug (glass verre: 8+16+6) = 1,3W/m² K | |

| | | |
|--|--|--|
| Marcação CE CE Marking Marquage CE NP EN 14351-1 | Fachada Semi-Oculta - 5110 x 6250mm Semi-structural glazing curtain wall - 5110 x 6250mm Mur rideau VEP - 5110 x 6250mm | |
| | 1 Projetante 1 glazing frame 1 contact à freinage | Vão fixo Fixed frame Cadre fixe |

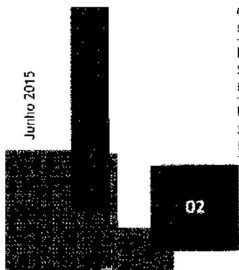
| | | |
|--|--|--|
| Permeabilidade ao AR (UN-EN 12153:2000) AIR Permeability Perméabilité à l'Air | AE750 (Especial) (SPECIAL SPÉCIAL) | AE750 (Especial) (SPECIAL SPÉCIAL) |
| Estanquidade à ÁGUA (UN-EN 12155:2000) WATER Tightness Étanchéité à l'EAU | RE 1500 | RE 1500 |
| Resistência ao VENTO (UN-EN 12179:2001) WIND Resistance Résistance au VENT | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE |
| Coef. Transm. TÉRMICA (UN-EN 13947:2005) THERMAL Transmittance Coef. de Transmission THERMIQUE | Uw = 1,45 W/m² K Ug (vidro 8-16+6) = 1,3W/m² K Ug (glass verre: 8-16+6) = 1,3W/m² K | |

| | | |
|--|--|--|
| Marcação CE CE Marking Marquage CE NP EN 14351-1 | Fachada Oculta - 5110 x 6250mm Structural glazing curtain wall - 5110 x 6250mm Mur rideau VEC - 5110 x 6250mm | |
| | 1 Projetante 1 glazing frame 1 contact à freinage | Vão fixo Fixed frame Cadre fixe |

| | | |
|--|---|--|
| Permeabilidade ao AR (UN-EN 12153:2000) AIR Permeability Perméabilité à l'Air | AE750 (Especial) (SPECIAL SPÉCIAL) | AE750 (Especial) (SPECIAL SPÉCIAL) |
| Estanquidade à ÁGUA (UN-EN 12155:2000) WATER Tightness Étanchéité à l'EAU | RE 1500 | RE 1500 |
| Resistência ao VENTO (UN-EN 12179:2001) WIND Resistance Résistance au VENT | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE |
| Coef. Transm. TÉRMICA (UN-EN 13947:2005) THERMAL Transmittance Coef. de Transmission THERMIQUE | Uw = 1,43 W/m² K Ug (vidro: 8+16+6) = 1,3W/m² K Ug (glass verre: 8+16+6) = 1,3W/m² K | |

| | | |
|---|---|--|
| Resistência às cargas vivas horizontais Fachada com 5110 x 6250mm Resistance to horizontal loads Fachada: 5110 x 6250mm Résistance aux charges horizontales vivantes Fachada: 5110 x 6250mm | Resistência ao impacto Fachada com 2500 x 2500mm Impact resistance Fachada: 2500 x 2500mm Résistance au choc Fachada: 2500 x 2500mm | Resistência ao peso próprio Fachada com 2490 x 1200mm Resistance own weight Fachada: 2490 x 1200mm Résistance au propre poids Fachada: 2490 x 1200mm |
|---|---|--|

| | | | |
|--|--|-----------|--|
| Fachada Estrutural Capped curtain wall Mur rideau trame traditionnelle | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE | I5 | 1,08KN (flecha máxima: 3mm) (Maximum deflection Flèche maximale) |
| Fachada Semi-Oculta Semi-structural glazing curtain wall Mur rideau VEP | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE | I5 | 1,08KN (flecha máxima: 3mm) (Maximum deflection Flèche maximale) |
| Fachada Oculta Structural glazing curtain wall Mur rideau VEC | APTO (1500Pa) ABLE CAPABLE | I5 | 1,08KN (flecha máxima: 3mm) (Maximum deflection Flèche maximale) |



Anexo B – Ficha técnica da Vitrochaves

FICHA TÉCNICA
COMPOSIÇÃO:

| Nr. | Descrição | Espessura mm |
|-----|--------------------------------|--------------|
| 1 | SOLARLUX® A 50 HT 6 mm TERMEX® | 6 mm |
| 2 | AR | 16 mm |
| 3 | MULTIPACT® 44.1 | 8,38 mm |

PESO E ESPESSURA

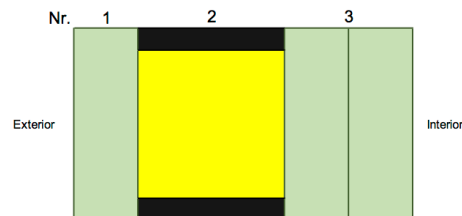
| | | |
|------------|-------|-------|
| Espessura: | mm | 30,38 |
| Peso: | Kg/m2 | 35 |

PROPRIEDADES MECÂNICAS
Nr.1 / Nr.3

| | |
|--|-----------|
| Resistência anti agressões - EN 356 | NPD / P1A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular - EN 12600 | NPD / 1B1 |

PROPRIEDADES ACÚSTICAS

| | | |
|--|----|-----------|
| Índice de Atenuação Acústica Estimada - Rw (C,Ctr) | dB | 39(-2;-6) |
|--|----|-----------|


INCLINAÇÃO

| | |
|-----------------------|-----|
| Ângulo de inclinação: | 90° |
|-----------------------|-----|

PROPRIEDADES TÉRMICAS
EN 673

| | | |
|------------------------------------|----------|-----|
| Coefficiente de Isolamento Térmico | W/(m2.K) | 1,3 |
|------------------------------------|----------|-----|

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS
EN410

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-----|
| Transmissão Luminosa | τ_v (%) | 51 |
| Reflexão Luminosa | ρ_v (%) | 18 |
| Reflexão Luminosa Interior | ρ_{vi} (%) | 12 |
| Índice de Rendimento das Cores | R_a (%) | NPD |

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
EN410

| | | |
|--------------------------|-----------------|------|
| Transmissão Energética | τ_e (%) | 22 |
| Reflexão Energética | ρ_e (%) | 43 |
| Absorção Energética | α_e (%) | 36 |
| Fator Solar | g (%) | 29 |
| Coefficiente Sombra | SC | 33 |
| Transmissão Ultravioleta | τ_{uv} (%) | NPD |
| Índice de Seletividade | | 1,79 |

Observações:

- Os valores indicados calculam-se tomando como base as medidas espectrais em conformidade com as normas EN 410. O coeficiente U calcula-se em conformidade com a norma EN 673 e o seu valor faz referência à parte central do vidro.
- Devido às tolerâncias de fabricação do vidro e dos capeamentos metálicos, estes valores estão sujeitos a tolerâncias comerciais. Os dados declarados segundo a EN410 apresentam uma tolerância de +/- 3 pontos percentuais; os dados declarados segundo a EN 673 apresentam uma tolerância de +/- 0,1 W/m2K.
- Os valores dos parâmetros acústicos, índice de redução acústica Rw, são calculados de maneira aproximada e são uma ajuda e guia para a definição do envidraçado. Nos casos que se requerirem valores exatos, as unidades devem ser submetidas a ensaios. Estes valores fazem referência, somente, às propriedades de atenuação acústica do vidro. Numa situação real, a atenuação acústica será diferente, devido à possível existência de pontes acústicas e à contribuição de outros elementos construtivos.
- A VITROCHAVES, S.A reserva-se o direito de rever as especificações dos seus produtos e seus standards sem notificação. O documento emite-se a título informativo e não significa a aceitação de fabrico.
- NPD - Performance não declarada.

FICHA TÉCNICA
COMPOSIÇÃO:

| Nr. | Descrição | Espessura mm |
|-----|--------------------------------|--------------|
| 1 | SOLARLUX® A 50 HT 6 mm TERMEX® | 6 mm |
| 2 | ÁRGON | 16 mm |
| 3 | MULTIPACT® 44.1 | 8,38 mm |

PESO E ESPESSURA

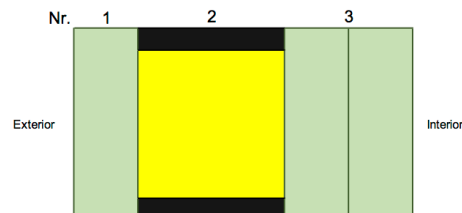
| | | |
|------------|-------|-------|
| Espessura: | mm | 30,38 |
| Peso: | Kg/m2 | 35 |

PROPRIEDADES MECÂNICAS
Nr.1 / Nr.3

| | |
|--|-----------|
| Resistência anti agressões - EN 356 | NPD / P1A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular - EN 12600 | NPD / 1B1 |

PROPRIEDADES ACÚSTICAS

| | | |
|--|----|-----------|
| Índice de Atenuação Acústica Estimada - Rw (C,Ctr) | dB | 39(-2;-6) |
|--|----|-----------|


INCLINAÇÃO

| | |
|-----------------------|-----|
| Ângulo de inclinação: | 90° |
|-----------------------|-----|

PROPRIEDADES TÉRMICAS
EN 673

| | | |
|------------------------------------|----------|-----|
| Coefficiente de Isolamento Térmico | W/(m2.K) | 1,0 |
|------------------------------------|----------|-----|

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS
EN410

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-----|
| Transmissão Luminosa | τ_v (%) | 51 |
| Reflexão Luminosa | ρ_v (%) | 18 |
| Reflexão Luminosa Interior | ρ_{vi} (%) | 12 |
| Índice de Rendimento das Cores | R_a (%) | NPD |

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
EN410

| | | |
|--------------------------|-----------------|-----|
| Transmissão Energética | τ_e (%) | 22 |
| Reflexão Energética | ρ_e (%) | 43 |
| Absorção Energética | α_e (%) | 36 |
| Fator Solar | g (%) | 28 |
| Coefficiente Sombra | SC | 33 |
| Transmissão Ultravioleta | τ_{uv} (%) | NPD |
| Índice de Seletividade | | 1,8 |

Observações:

- Os valores indicados calculam-se tomando como base as medidas espectrais em conformidade com as normas EN 410. O coeficiente U calcula-se em conformidade com a norma EN 673 e o seu valor faz referência à parte central do vidro.
- Devido às tolerâncias de fabricação do vidro e dos capeamentos metálicos, estes valores estão sujeitos a tolerâncias comerciais. Os dados declarados segundo a EN410 apresentam uma tolerância de +/- 3 pontos percentuais; os dados declarados segundo a EN 673 apresentam uma tolerância de +/- 0,1 W/m2K.
- Os valores dos parâmetros acústicos, índice de redução acústica Rw, são calculados de maneira aproximada e são uma ajuda e guia para a definição do envidraçado. Nos casos que se requirem valores exatos, as unidades devem ser submetidas a ensaios. Estes valores fazem referência, somente, às propriedades de atenuação acústica do vidro. Numa situação real, a atenuação acústica será diferente, devido à possível existência de pontes acústicas e à contribuição de outros elementos construtivos.
- A VITROCHAVES, S.A reserva-se o direito de rever as especificações dos seus produtos e seus standards sem notificação. O documento emite-se a título informativo e não significa a aceitação de fabrico.
- NPD - Performance não declarada.

FICHA TÉCNICA
COMPOSIÇÃO:

| Nr. | Descrição | Espessura mm |
|-----|--------------------------------|--------------|
| 1 | SOLARLUX® A 50 HT 8 mm TERMEX® | 8 mm |
| 2 | AR | 16 mm |
| 3 | MULTIPACT® 44.1 | 8,38 mm |

PESO E ESPESSURA

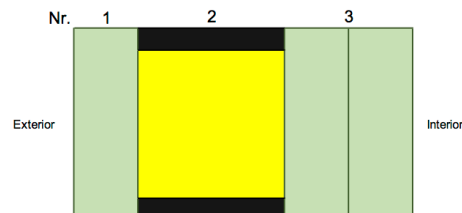
| | | |
|------------|-------|-------|
| Espessura: | mm | 32,38 |
| Peso: | Kg/m2 | 40 |

PROPRIEDADES MECÂNICAS
Nr.1 / Nr.3

| | |
|--|-----------|
| Resistência anti agressões - EN 356 | NPD / P1A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular - EN 12600 | NPD / 1B1 |

PROPRIEDADES ACÚSTICAS

| | | |
|--|----|-----|
| Índice de Atenuação Acústica Estimada - Rw (C,Ctr) | dB | NPD |
|--|----|-----|


INCLINAÇÃO

| | |
|-----------------------|-----|
| Ângulo de inclinação: | 90° |
|-----------------------|-----|

PROPRIEDADES TÉRMICAS
EN 673

| | | |
|------------------------------------|----------|-----|
| Coefficiente de Isolamento Térmico | W/(m2.K) | 1,3 |
|------------------------------------|----------|-----|

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS
EN410

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-----|
| Transmissão Luminosa | τ_v (%) | 51 |
| Reflexão Luminosa | ρ_v (%) | 18 |
| Reflexão Luminosa Interior | ρ_{vi} (%) | 12 |
| Índice de Rendimento das Cores | R_a (%) | NPD |

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
EN410

| | | |
|--------------------------|-----------------|------|
| Transmissão Energética | τ_e (%) | 21 |
| Reflexão Energética | ρ_e (%) | 43 |
| Absorção Energética | α_e (%) | 37 |
| Fator Solar | g (%) | 28 |
| Coefficiente Sombra | SC | 32 |
| Transmissão Ultravioleta | τ_{uv} (%) | NPD |
| Índice de Seletividade | | 1,85 |

Observações:

- Os valores indicados calculam-se tomando como base as medidas espectrais em conformidade com as normas EN 410. O coeficiente U calcula-se em conformidade com a norma EN 673 e o seu valor faz referência à parte central do vidro.
- Devido às tolerâncias de fabricação do vidro e dos capeamentos metálicos, estes valores estão sujeitos a tolerâncias comerciais. Os dados declarados segundo a EN410 apresentam uma tolerância de +/- 3 pontos percentuais; os dados declarados segundo a EN 673 apresentam uma tolerância de +/- 0,1 W/m2K.
- Os valores dos parâmetros acústicos, índice de redução acústica Rw, são calculados de maneira aproximada e são uma ajuda e guia para a definição do envidraçado. Nos casos que se requerirem valores exatos, as unidades devem ser submetidas a ensaios. Estes valores fazem referência, somente, às propriedades de atenuação acústica do vidro. Numa situação real, a atenuação acústica será diferente, devido à possível existência de pontes acústicas e à contribuição de outros elementos construtivos.
- A VITROCHAVES, S.A reserva-se o direito de rever as especificações dos seus produtos e seus standards sem notificação. O documento emite-se a título informativo e não significa a aceitação de fabrico.
- NPD - Performance não declarada.

FICHA TÉCNICA
COMPOSIÇÃO:

| Nr. | Descrição | Espessura mm |
|-----|---------------------------------|--------------|
| 1 | SOLARLUX® A 50 HT 8 mm TEMPRES® | 8 mm |
| 2 | ÁRGON | 16 mm |
| 3 | MULTIPACT® 44.2 | 8,76 mm |

PESO E ESPESSURA

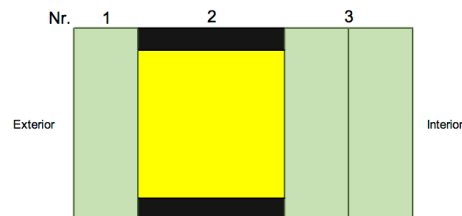
| | | |
|------------|-------|-------|
| Espessura: | mm | 32,76 |
| Peso: | Kg/m2 | 40 |

PROPRIEDADES MECÂNICAS
Nr.1 / Nr.3

| | |
|--|-----------|
| Resistência anti agressões - EN 356 | NPD / P2A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular - EN 12600 | 1C1 / 1B1 |

PROPRIEDADES ACÚSTICAS

| | | |
|--|----|-----|
| Índice de Atenuação Acústica Estimada - Rw (C,Ctr) | dB | NPD |
|--|----|-----|


INCLINAÇÃO

| | |
|-----------------------|-----|
| Ângulo de inclinação: | 90° |
|-----------------------|-----|

PROPRIEDADES TÉRMICAS
EN 673

| | | |
|------------------------------------|----------|-----|
| Coefficiente de Isolamento Térmico | W/(m2.K) | 1,0 |
|------------------------------------|----------|-----|

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS
EN410

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-----|
| Transmissão Luminosa | τ_v (%) | 51 |
| Reflexão Luminosa | ρ_v (%) | 18 |
| Reflexão Luminosa Interior | ρ_{vi} (%) | 12 |
| Índice de Rendimento das Cores | R_a (%) | NPD |

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
EN410

| | | |
|--------------------------|-----------------|------|
| Transmissão Energética | τ_e (%) | 21 |
| Reflexão Energética | ρ_e (%) | 43 |
| Absorção Energética | α_e (%) | 37 |
| Fator Solar | g (%) | 27 |
| Coefficiente Sombra | SC | 32 |
| Transmissão Ultravioleta | τ_{uv} (%) | NPD |
| Índice de Seletividade | | 1,84 |

Observações:

- Os valores indicados calculam-se tomando como base as medidas espectrais em conformidade com as normas EN 410. O coeficiente U calcula-se em conformidade com a norma EN 673 e o seu valor faz referência à parte central do vidro.
- Devido às tolerâncias de fabricação do vidro e dos capeamentos metálicos, estes valores estão sujeitos a tolerâncias comerciais. Os dados declarados segundo a EN410 apresentam uma tolerância de +/- 3 pontos percentuais; os dados declarados segundo a EN 673 apresentam uma tolerância de +/- 0,1 W/m2K.
- Os valores dos parâmetros acústicos, índice de redução acústica Rw, são calculados de maneira aproximada e são uma ajuda e guia para a definição do envidraçado. Nos casos que se requerem valores exatos, as unidades devem ser submetidas a ensaios. Estes valores fazem referência, somente, às propriedades de atenuação acústica do vidro. Numa situação real, a atenuação acústica será diferente, devido à possível existência de pontes acústicas e à contribuição de outros elementos construtivos.
- A VITROCHAVES, S.A reserva-se o direito de rever as especificações dos seus produtos e seus standards sem notificação. O documento emite-se a título informativo e não significa a aceitação de fabrico.
- NPD - Performance não declarada.

sunbelt A50 / sunbelt A50 HT

EN-Standard

| Basisglas | Ebene | Glasstärke [mm] | sichtbarer Lichtbereich | | | solare Strahlung | | | g-Wert [%] | b-Wert (g-Wert/0,8) [%] | shading coefficient (g-Wert/0,87) [%] | Farbwieder-gabeindex R _a | U _g -Wert [W/m ² K] (90% Argon) |
|-----------|-------|-----------------|-------------------------|---------------|-------|-------------------|---------------|----------------|------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| | | | Trans-mission [%] | Reflexion [%] | | Trans-mission [%] | Reflexion [%] | Absorption [%] | | | | | |
| | | | | außen | innen | | | | | | | | |

| substrate | coated glass surface | standard thickness [mm] | visible light | | | total solar energy | | | solar factor (SF) [%] | b-value (SF/0.8) [%] | shading coefficient (SF/0.87) [%] | colour rendering index | U _g -value [W/m ² K] (90% argon) |
|-----------|----------------------|-------------------------|--------------------|-----------------|--------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------|--|
| | | | trans-mittance [%] | reflectance [%] | | trans-mittance [%] | reflectance [%] | absorbance [%] | | | | | |
| | | | | outside | inside | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Floatglas clear | #2 | 6 16 4 | 53 | 18 | 12 | 26 | 31 | 43 | 28 | 35 | 32 | 94 | 1,0 |
| Grünglas green | #2 | 6 16 4 | 44 | 14 | 12 | 19 | 11 | 70 | 22 | 28 | 26 | 86 | 1,0 |
| Grauglas grey | #2 | 6 16 4 | 26 | 8 | 11 | 13 | 13 | 73 | 17 | 21 | 19 | 91 | 1,0 |
| Bronzeglas bronze | #2 | 6 16 4 | 29 | 8 | 11 | 14 | 14 | 72 | 18 | 22 | 20 | 93 | 1,0 |

Glasfarben abweichend von Farben in diesem Prospekt.

Alle technischen Werte nach EN 410 und EN 673 (ΔT = 15 K), Produktionstoleranzen nach EN 1096.

Alle Produkte sind ausschließlich für den Einsatz auf Ebene #2 freigegeben.

Werte können sich im Zuge der Produktweiterentwicklung ändern. Irrtümer und Fehler nicht ausgeschlossen.

Stand: März 2015 Deh

Glass colours shown are for reference only and do not represent actual glass colour.

Performance data are calculated using EN 410 and EN 673 (ΔT = 15 K), manufacturing tolerances EN 1096.

All products are approved only for use on surface #2.

arcon reserves the right to change product performance characteristics without notice and without obligation.

rev: March 2015 Deh

FICHA TÉCNICA
COMPOSIÇÃO:

| Nr. | Descrição | Espessura mm |
|-----|---------------------------------|--------------|
| 1 | SOLARLUX® A 50 HT 6 mm TEMPRES® | 6 mm |
| 2 | AR | 16 mm |
| 3 | MULTIPACT® 44.1 PVB Translúcido | 8,38 mm |

PESO E ESPESSURA

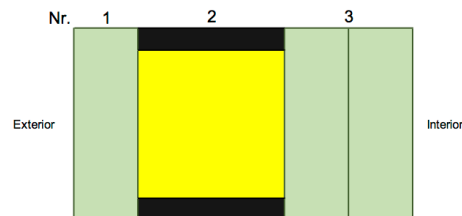
| | | |
|------------|-------|-------|
| Espessura: | mm | 30,38 |
| Peso: | Kg/m2 | 35 |

PROPRIEDADES MECÂNICAS
Nr.1 / Nr.3

| | |
|--|-----------|
| Resistência anti agressões - EN 356 | NPD / P1A |
| Resistência ao impacto de um corpo pendular - EN 12600 | 1C1 / 1B1 |

PROPRIEDADES ACÚSTICAS

| | | |
|--|----|-----------|
| Índice de Atenuação Acústica Estimada - Rw (C,Ctr) | dB | 39(-2;-6) |
|--|----|-----------|


INCLINAÇÃO

| | |
|-----------------------|-----|
| Ângulo de inclinação: | 90° |
|-----------------------|-----|

PROPRIEDADES TÉRMICAS
EN 673

| | | |
|------------------------------------|----------|-----|
| Coefficiente de Isolamento Térmico | W/(m2.K) | 1,3 |
|------------------------------------|----------|-----|

CARACTERÍSTICAS LUMINOSAS
EN410

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-----|
| Transmissão Luminosa | τ_v (%) | 33 |
| Reflexão Luminosa | ρ_v (%) | 20 |
| Reflexão Luminosa Interior | ρ_{vi} (%) | 17 |
| Índice de Rendimento das Cores | R_a (%) | NPD |

CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS
EN410

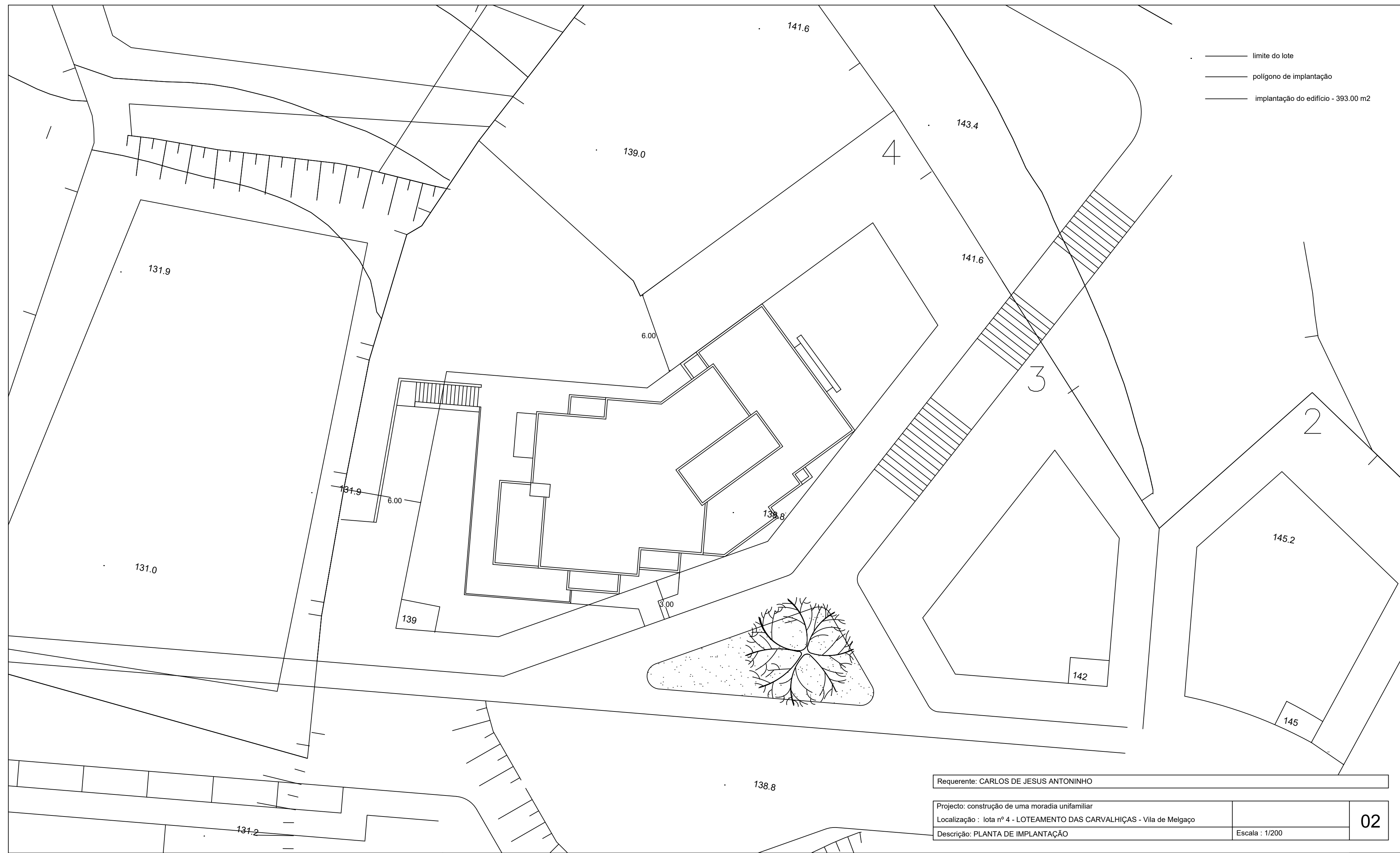
| | | |
|--------------------------|-----------------|------|
| Transmissão Energética | τ_e (%) | 16 |
| Reflexão Energética | ρ_e (%) | 43 |
| Absorção Energética | α_e (%) | 41 |
| Fator Solar | g (%) | 27 |
| Coefficiente Sombra | SC | 31 |
| Transmissão Ultravioleta | τ_{uv} (%) | NPD |
| Índice de Seletividade | | 1,21 |

Observações:

- Os valores indicados calculam-se tomando como base as medidas espectrais em conformidade com as normas EN 410. O coeficiente U calcula-se em conformidade com a norma EN 673 e o seu valor faz referência à parte central do vidro.
- Devido às tolerâncias de fabricação do vidro e dos capeamentos metálicos, estes valores estão sujeitos a tolerâncias comerciais. Os dados declarados segundo a EN410 apresentam uma tolerância de +/- 3 pontos percentuais; os dados declarados segundo a EN 673 apresentam uma tolerância de +/- 0,1 W/m2K.
- Os valores dos parâmetros acústicos, índice de redução acústica Rw, são calculados de maneira aproximada e são uma ajuda e guia para a definição do envidraçado. Nos casos que se requerem valores exatos, as unidades devem ser submetidas a ensaios. Estes valores fazem referência, somente, às propriedades de atenuação acústica do vidro. Numa situação real, a atenuação acústica será diferente, devido à possível existência de pontes acústicas e à contribuição de outros elementos construtivos.
- A VITROCHAVES, S.A reserva-se o direito de rever as especificações dos seus produtos e seus standards sem notificação. O documento emite-se a título informativo e não significa a aceitação de fabrico.
- NPD - Performance não declarada.

Anexo C – Plantas da habitação em estudo

- limite do lote
- polígono de implantação
- implantação do edifício - 393.00 m2



Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

| | | |
|--|----------------|----|
| Projecto: construção de uma moradia unifamiliar | Escala : 1/200 | 02 |
| Localização : lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço | | |
| Descrição: PLANTA DE IMPLANTAÇÃO | | |

área de implantação da cave - 322.00 m2

sala de jogos
62.00 m2

garagem
173.00 m2

137.40

arrumos
27.00 m2

aquec.
5.00 m2

135.96

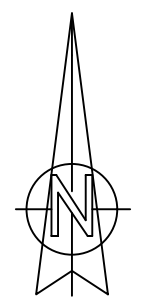
Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

Projecto: construção de uma moradia unifamiliar

Localização : lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço

Descrição: PLANTA DA CAVE - (cota 135.96 e 137.40)

Escala : 1/100



C1

C2

C4

C1

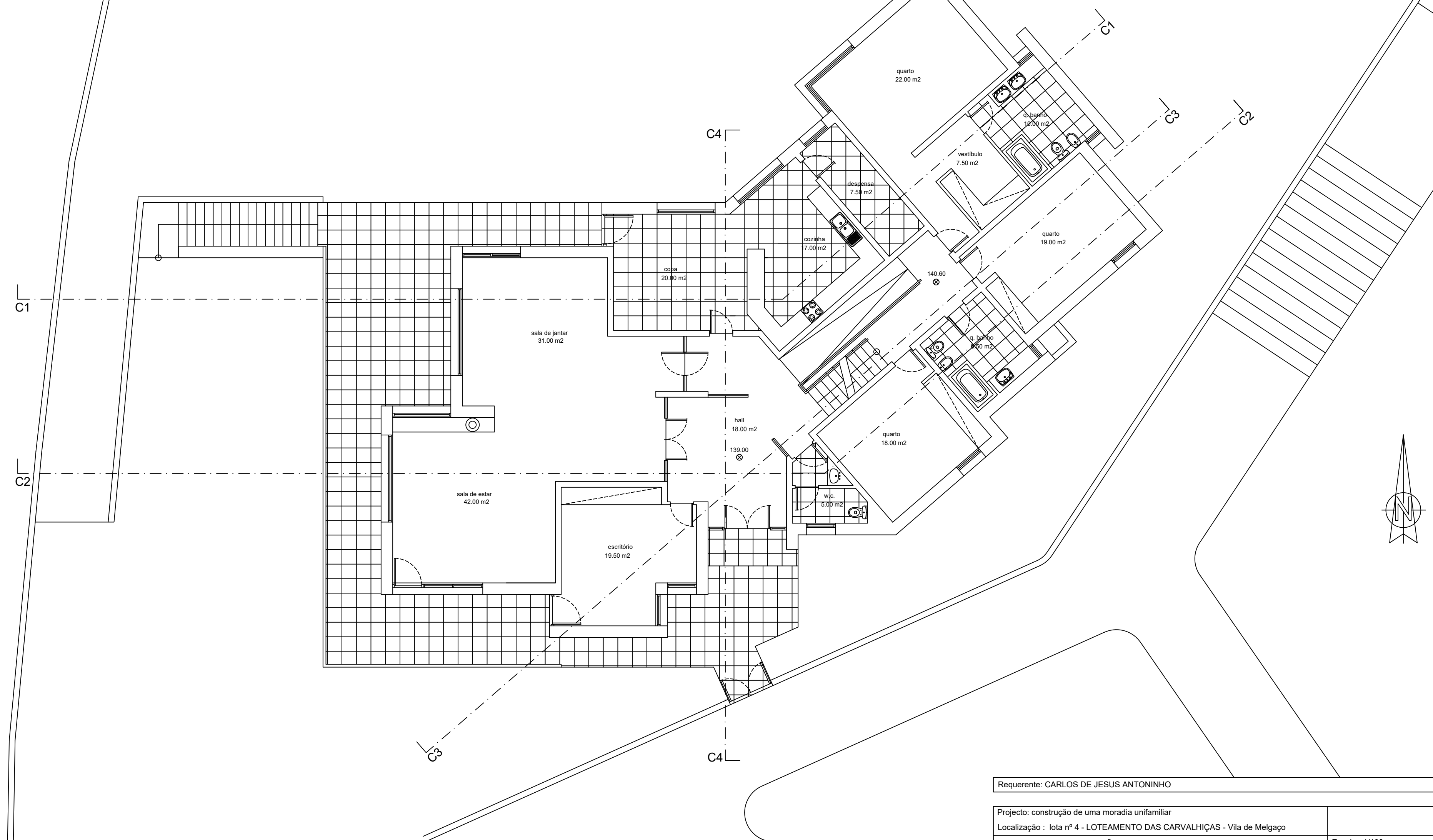
C3

C2

C3

C4

área de implantação do r/chão - 322.00 m²



Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

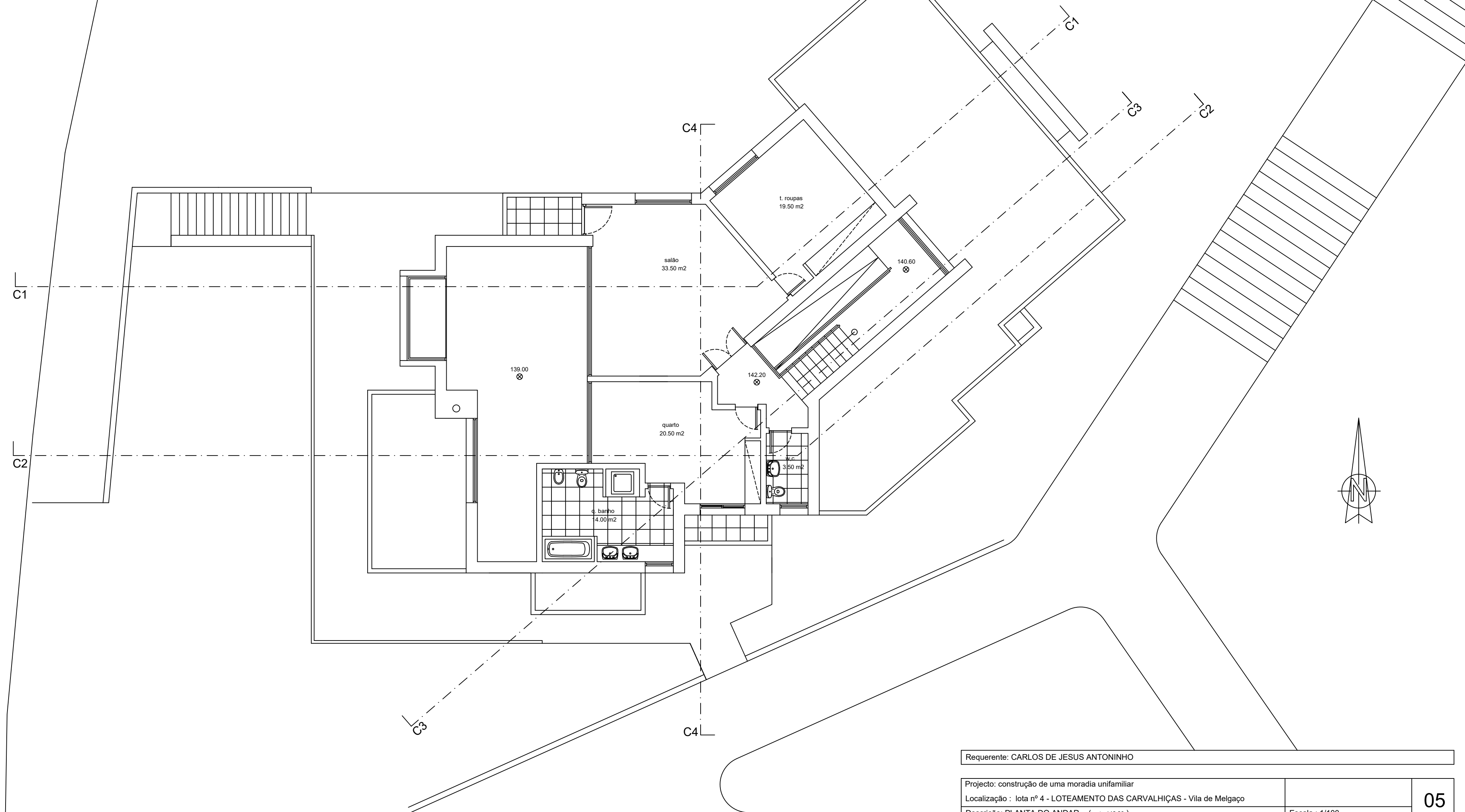
Projecto: construção de uma moradia unifamiliar

Localização: lote nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço

Descrição: PLANTA DO R/CHÃO - (cota 139.00 e 140.60)

Escala: 1/100

área de implantação do anadar - 132.00 m2



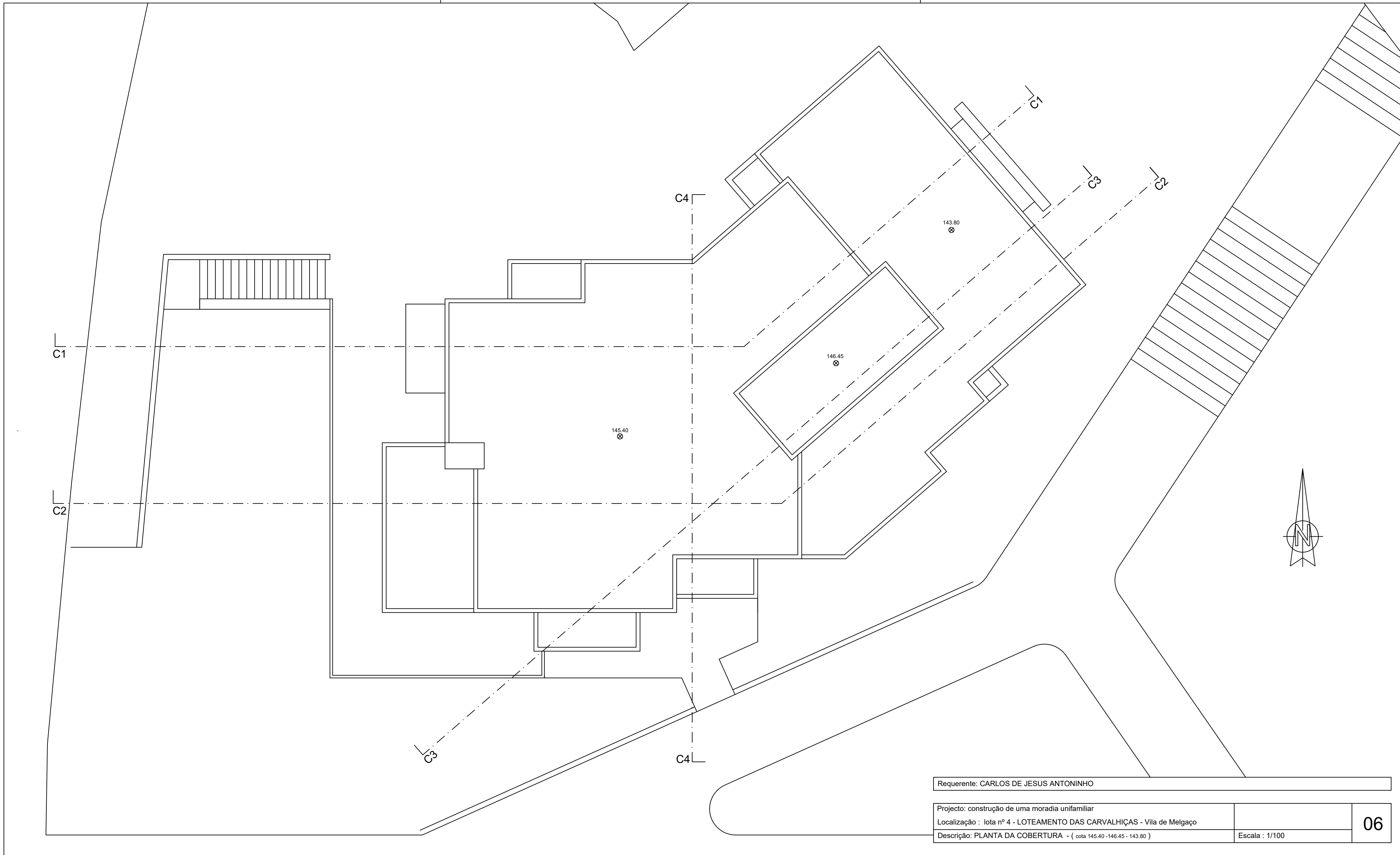
Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

Projecto: construção de uma moradia unifamiliar

Localização: lote nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço

Descrição: PLANTA DO ANDAR - (cota 142.20)

Escala: 1/100



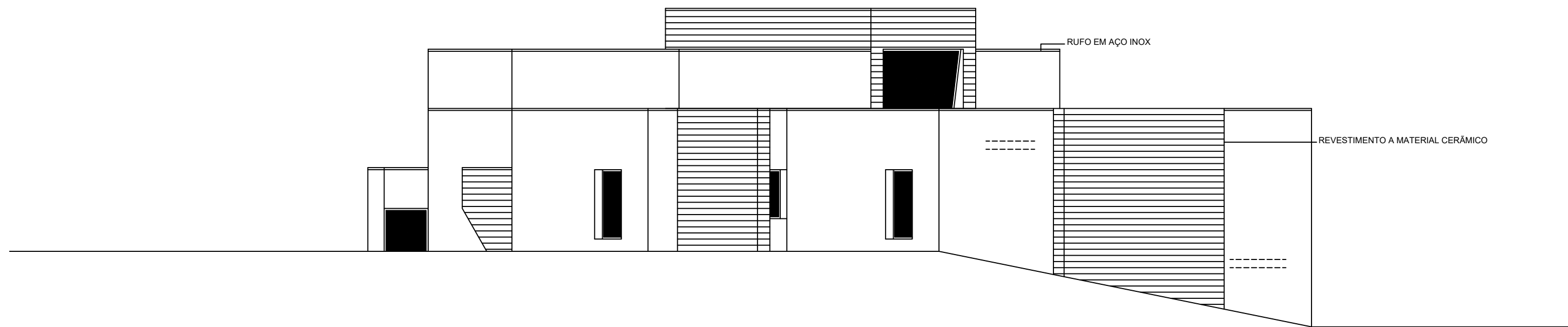
Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

Projecto: construção de uma moradia unifamiliar

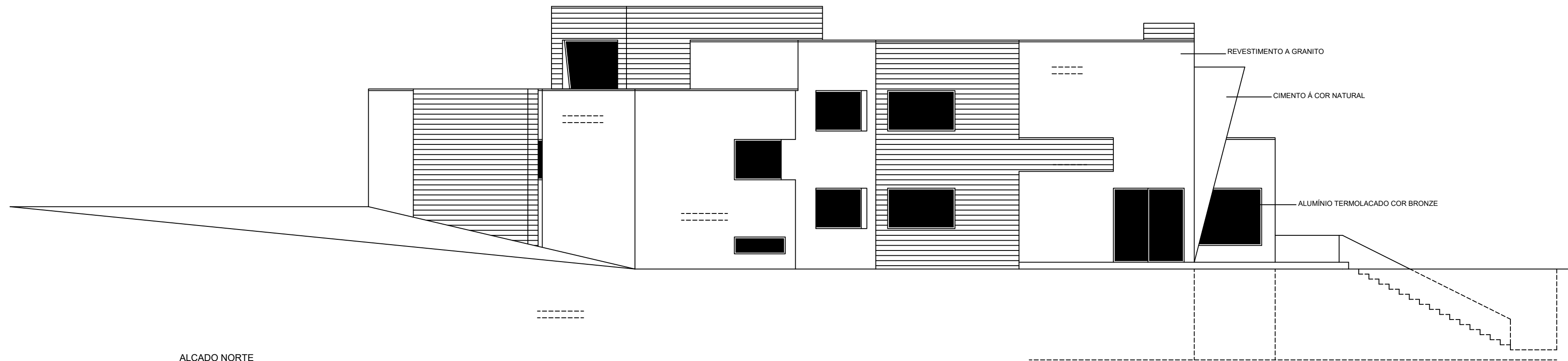
Localização : lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço

Descrição: PLANTA DA COBERTURA - (cota 145.40 - 146.45 - 143.80)

Escala : 1/100



ALÇADO NASCENTE



ALÇADO NORTE

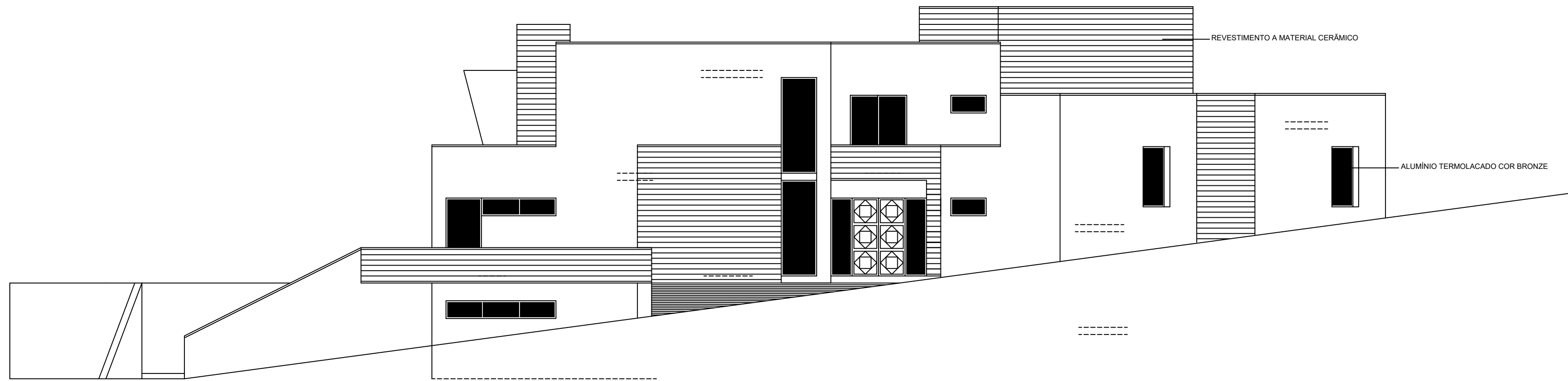
Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

Projecto: construção de uma moradia unifamiliar

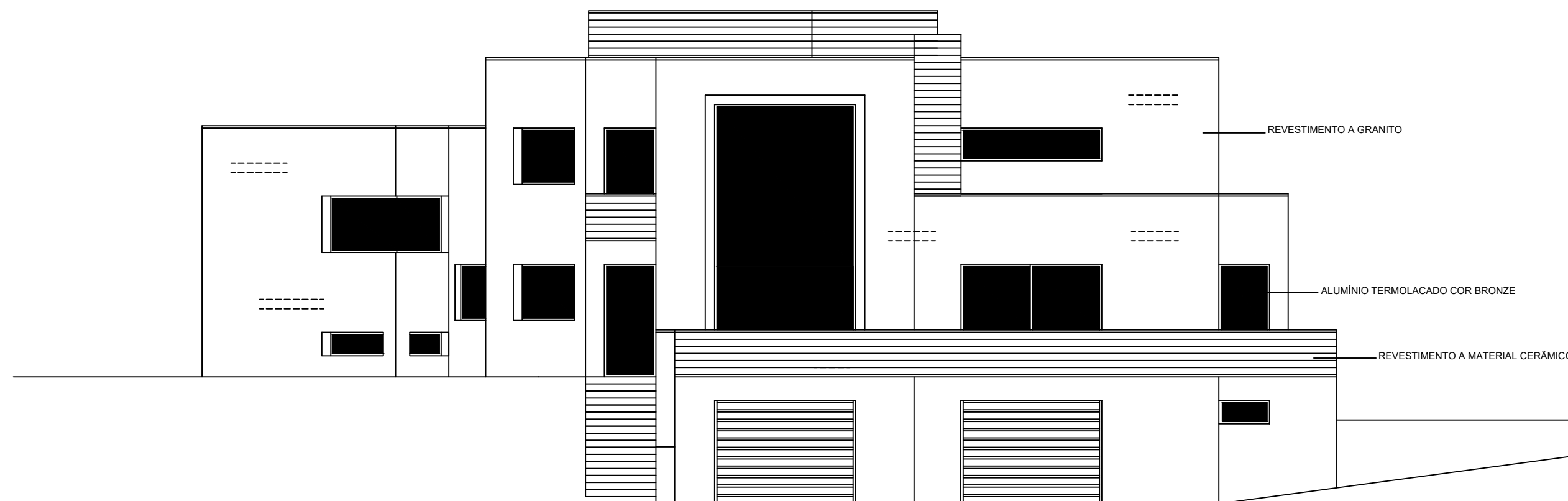
Localização: Lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço

Descrição: ALÇADOS

Escala: 1/100



ALÇADO SUL

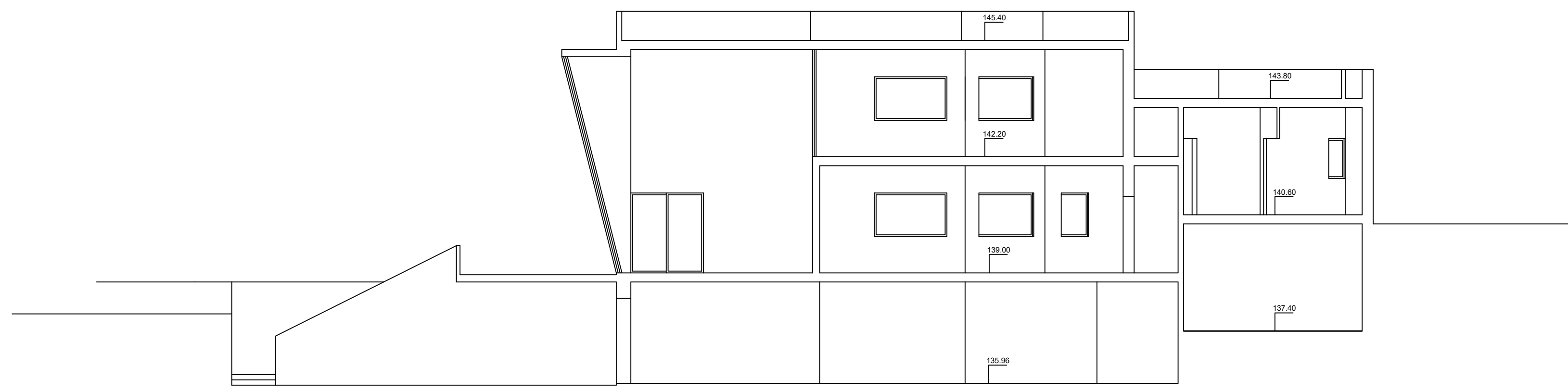


ALÇADO POENTE

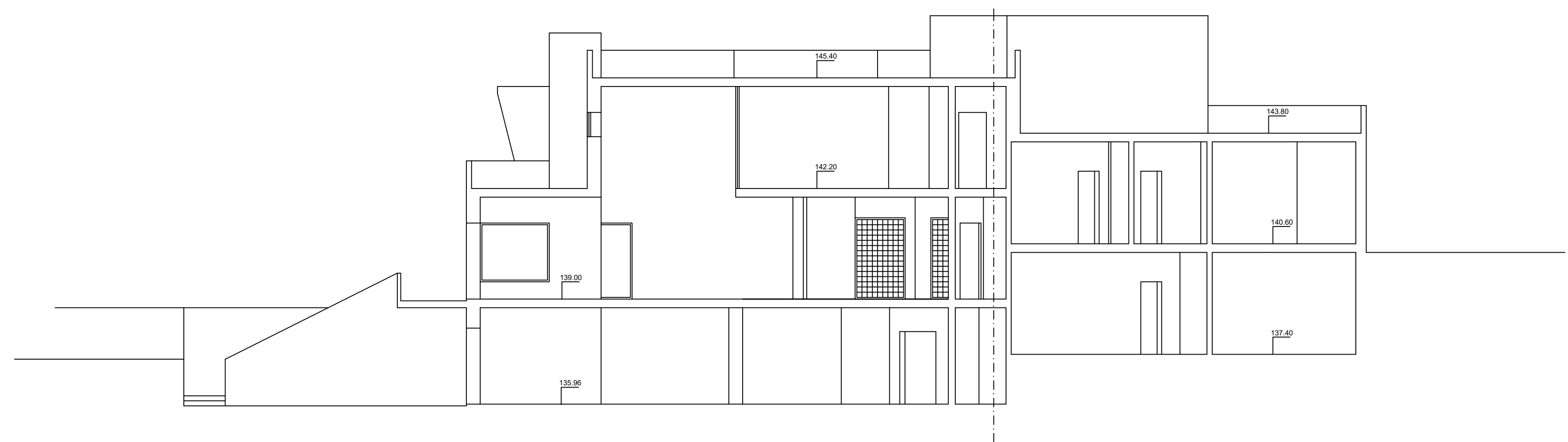
Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

Projecto: construção de uma moradia unifamiliar
 Localização : lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço
 Descrição: ALÇADOS

Escala : 1/100

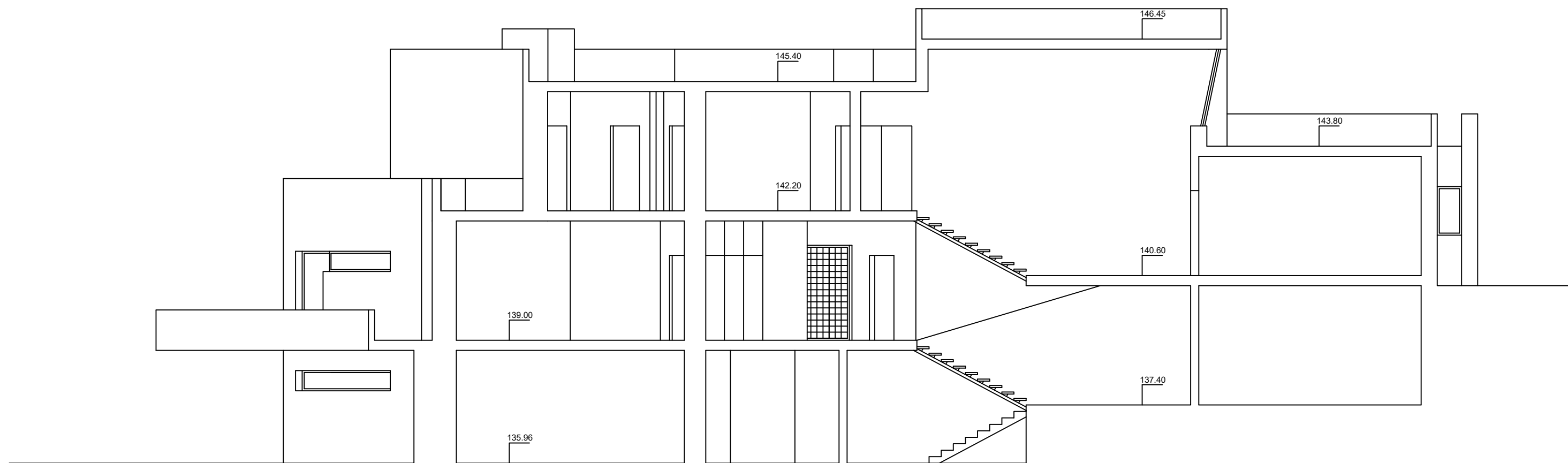


CORTE C1

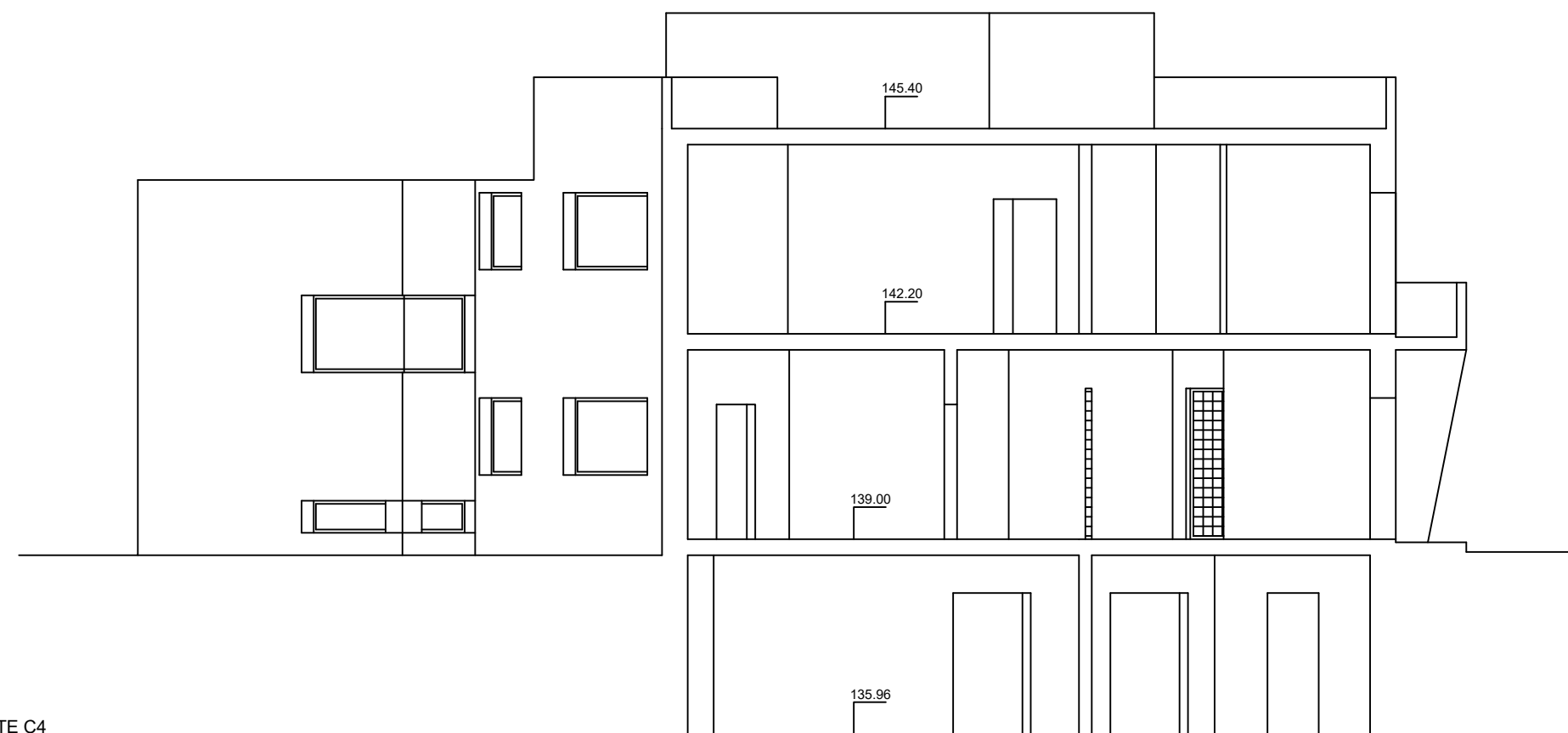


CORTE C2

| | | |
|--|----------------|----|
| Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO | | |
| Projecto: construção de uma moradia unifamiliar | | |
| Localização : lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço | | 09 |
| Descrição: CORTES | Escala : 1/100 | |



CORTE C3



CORTE C4

Requerente: CARLOS DE JESUS ANTONINHO

| | | |
|--|----------------|----|
| Projecto: construção de uma moradia unifamiliar | | |
| Localização : lota nº 4 - LOTEAMENTO DAS CARVALHIÇAS - Vila de Melgaço | | |
| Descrição: CORTES | Escala : 1/100 | 10 |

