

MESTRADO INTEGRADO
ARQUITECTURA

Arquitetura Passiva
Entre a Massa e a Transparência
Manuel Augusto de Sá Monteiro



Arquitetura Passiva

Entre a Massa e a Transparência

Manuel Augusto de Sá Monteiro

Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura

Apresentado à Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto

sob Orientação do Professor Doutor Eliseu Manuel Vieira Gonçalves

Porto 2025

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eliseu, por todo o apoio, acompanhamento e motivação no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Eng^a. Eduardo Maldonado por me ter aberto a porta de casa, pelo apoio e paciência.

À minha família por todos os sacrifícios.

Abstract

This dissertation begins with an analysis of passive and vernacular architecture in Portugal, highlighting its importance for sustainability and energy efficiency, in line with growing environmental concerns, where revisiting traditional solutions, adapted to the local climate and culture, proves to be essential.

The study addresses construction strategies that minimize the environmental impact of buildings, promoting thermal comfort through the rational use of natural resources such as solar radiation, ventilation, and thermal inertia, without heavily relying on expensive technologies.

The analysis of Portuguese vernacular architecture highlights the value of traditional knowledge, local materials, and bioclimatic adaptations, advocating for the integration of these lessons into contemporary construction.

Key concepts of passive architecture — solar orientation, insulation, cross ventilation, and thermal mass — are explained, and methodologies for energy assessment are presented. A case study illustrates the practical application of these principles, focusing on the relationship between opaque facade and glazed openings, in which thermal inertia plays a role, highlighting both the benefits and limitations.

The research includes literature review, document analysis, and practical simulation, promoting a multidisciplinary perspective. It is concluded that incorporating principles of passive and vernacular architecture into current designs is essential for creating more environmentally friendly and comfortable buildings, without compromising architectural expression and encouraging sustainable solutions.

Keywords: passive architecture, vernacular architecture, sustainability, energy efficiency, bioclimatic, thermal comfort, regulations. I

Resumo

Esta dissertação parte de uma análise da arquitetura passiva e vernacular em Portugal, destacando a sua importância para a sustentabilidade e eficiência energética, indo de encontro às crescentes preocupações ambientais, onde revisitar as soluções tradicionais, adaptadas ao clima e à cultura locais, se mostra fundamental.

O estudo aborda estratégias construtivas que minimizam o impacto ambiental dos edifícios, promovendo conforto térmico com uso racional de recursos naturais como radiação solar, ventilação e inércia térmica, sem depender fortemente de tecnologias caras.

A análise da arquitetura vernacular portuguesa ressalta o valor do conhecimento tradicional, dos materiais locais e das adaptações bioclimáticas, defendendo a integração dessas lições na construção contemporânea.

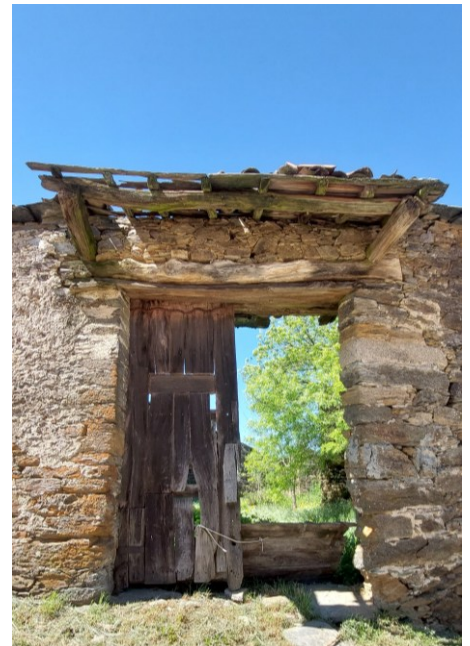
São explicados conceitos-chave da arquitetura passiva — orientação solar, isolamento, ventilação cruzada e massas térmicas — e apresentadas metodologias de avaliação energética. Um caso de estudo ilustra a aplicação prática desses princípios centrado na relação entre fachada opaca /vão envidraçado na qual se intromete a inércia térmica, evidenciando os benefícios e limitações.

A pesquisa inclui revisão bibliográfica, análise documental e simulação prática, promovendo uma visão multidisciplinar. Conclui-se que inserir princípios da arquitetura passiva e vernacular nos projetos atuais é essencial para edifícios mais ecológicos e confortáveis, sem sacrificar a expressão arquitetónica e incentivando soluções sustentáveis.

Palavras-chave: arquitetura passiva, arquitetura vernacular, sustentabilidade, eficiência energética, bioclimática, conforto térmico, normativa.

SUMÁRIO

Introdução	11
1 Arquitectura Passiva	29
1.1 Arquitectura Vernacular: Um Legado de Adaptação Ambiental	32
1.2 Arquitectura Popular portuguesa e Relevância Bioclimática.....	35
1.3 Estratégias Solares Passivas	40
1.4 Da Arquitectura Vernacular à Contemporânea: Lições e Reinterpretações	46
2 Conforto térmico	53
2.1 Da teoria bioclimática à regulamentação europeia.....	53
2.2 A operacionalização normativa no Manual SCE	57
3 Massa e transparência	69
3.1 A Massa – Parede de Fachada.....	70
3.2 A transparência – O vão envidraçado	79
3.3 A massa e a transparência – O equilíbrio.....	86
4 Caso de estudo	95
4.1 Caracterização.....	100
4.2 Definição de Parâmetros de Análise	112
4.3 Modelação e Análise	113
4.4 Resultados.....	117
Considerações Finais	122
Referências bibliográficas	131
Lista de imagens	134
Apêndice e Anexo	138



Introdução

INTRODUÇÃO

Historicamente, a fachada foi palco de diversas linguagens e valores: das composições clássicas às superfícies contínuas e abstratas da modernidade. As fachadas de Le Corbusier, com a sua racionalidade plástica; de Mies van der Rohe, com a transparência como expressão de rigor técnico; de Frank Lloyd Wright, como prolongamento orgânico da paisagem; ou ainda de Gropius, com a pureza funcional. A fachada é, simultaneamente, expressão e mediação. Identifica o edifício e insere-o na paisagem urbana ou natural, mas é também a parte mais significativa da envolvente exterior que responde às condicionantes naturais do lugar tendo por referência necessidades básicas do conforto do habitar.

Nas palavras de Fernando Távora a relação entre o edifício e o seu lugar não é apenas formal, mas ética e funcional. A fachada não é apenas o rosto visível, mas uma construção complexa que articula o interior com o mundo exterior, em múltiplas escalas: térmica, visual, simbólica e social.

Contudo, para além do estilo ou da imagem, a fachada tem funções primárias, protege, filtra e regula, sendo, assim, o primeiro agente do conforto térmico. Hoje, num contexto de crise energética e ambiental, a fachada volta a ser chamada à sua função mais essencial: reguladora do ambiente interior com o mínimo de energia ativa possível.

A aposta contemporânea em equipamentos eficientes é importante, mas reduzir as necessidades desses equipamentos através do próprio desenho



*Figura 2 - Villa Caldogno –
Palladio, 1542*



*Figura 3 - La Villa Savoye – Le
Corbusier, 1928*

arquitetónico é o desafio maior. A arquitetura deve começar eficiente, e não apenas se tornar eficiente por meio de tecnologia.

No atual quadro legislativo português — como o Decreto-Lei n.º 101-D/2020¹ — os requisitos energéticos aplicam-se de forma direta à envolvente opaca e envidraçada. O projeto de arquitetura torna-se, assim, um instrumento técnico de cumprimento regulatório, mas também um espaço crítico de concepção sustentável, onde a fachada pode, e deve, assumir o protagonismo do desempenho energético do edifício.

A arquitetura bioclimática reconhece a fachada como um componente determinante para o desempenho térmico do edifício, atuando como interface estratégica entre o interior e as condições climáticas externas. No contexto mediterrânico, caracterizado por verões quentes e invernos moderados, o desenho da envolvente deve evitar soluções genéricas e responder de forma sensível às particularidades locais como preconizado por Yannas².

A dualidade entre elementos opacos e transparentes na fachada é central para este debate. O uso extensivo de superfícies envidraçadas, embora eficaz para ganhos solares em climas frios, revela-se



Figura 4- Crown Hall - Mies van der Rohe, 1954



Figura 5 – Herbert and Katherine Jacobs II Home, 1943 — Andrew Pielage Photography, Frank Lloyd Wright



Figura 6 - Gropius House – Walter Gropius, 1938

¹Decreto-Lei, n.º 101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW:

<<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

O Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, faz a transposição nacional da revisão atual da Diretiva EPBD, (Energy Performance of Buildings Directive), Directiva (EU)2018/844.

² YANNAS, Simos - **Solar energy and housing design**. Londres: Architectural Association Publications, 1994.

Simos Yannas é arquiteto e coordenador da pós-graduação *Environment and Energy* da Architecture Association Graduate School. É autor de mais de 100 publicações, destacando-se as obras "Solar energy and housing design" e "Roof cooling techniques – A design handbook".

problemático em latitudes mais quentes. As fachadas totalmente transparentes contribuem significativamente para a sobrecarga térmica, exigindo maior dependência de equipamentos de climatização artificial — justamente o oposto da lógica passiva e sustentável.

Neste sentido, Szokolay³ apresenta o vidro como possuindo baixa inércia térmica, o que resulta numa rápida transferência de calor para o interior, enquanto os materiais opacos e densos, como a alvenaria, retardam essas trocas e favorecem o conforto térmico passivo. Isso reforça a importância de considerar a proporção e disposição dos vãos no projeto de fachadas, especialmente em habitação.

A crítica à transparência enquanto modelo internacional alerta para a tendência globalizante de impor fachadas de vidro em contextos onde seriam mais adequadas estratégias vernaculares, como o sombreamento profundo, muros espessos e aberturas controladas. Na aplicação de conceitos bioclimáticos em climas como o do Porto, o uso equilibrado de componentes opacos com aberturas orientadas estrategicamente conduz a uma arquitetura mais eficiente e adaptada ao lugar.

O presente estudo parte, portanto, da seguinte problemática: Como calibrar a composição da



Figura 7 - Farnsworth House - Mies van der Rohe, 1951.

³ SZOKOLAY, Steven - **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Oxford: Elsevier Science, 2004.

Steven Szokolay (1927-2024) foi um arquiteto húngaro que fugiu do seu país de origem devido à sua posição contra o comunismo. Licenciou-se em Arquitetura na Universidade de Nova Gales do Sul e doutorou-se em Filosofia, pela Universidade de Queensland. Destacou-se na sua profissão nos seus trabalhos sobre arquitetura e o consumo passivo de energia.

fachada entre transparência e opacidade de modo a otimizar o conforto térmico e a eficiência energética em climas mediterrânicos?

Tema e Problemática

A relação entre eficiência energética e conforto térmico na habitação não pode ser dissociada da configuração e materialidade da fachada — especialmente da relação entre opacidade e transparência. Na arquitetura contemporânea, muitas vezes dominada por soluções globalizadas e estéticas internacionalizadas, a tendência para o uso intensivo do vidro tem sido celebrada por sua aparência de leveza, continuidade visual e fusão entre interior e exterior. No entanto, essa valorização da transparência nem sempre considera as condições climáticas locais, tampouco as dinâmicas térmicas reais de uma habitação.

Após a crise dos anos 70, com a exigência de padrões de isolamento nos edifícios, a parede monolítica desaparece para dar lugar a várias camadas funcionais.⁴

Segundo Andreas Deplazes⁵, no livro *Constructing Architecture: Materials, Processes Structures*, a fachada não deve ser vista apenas como uma membrana fina, mas como uma filigrana construtiva — uma interface densa de camadas, materiais e decisões tectónicas que respondem simultaneamente a exigências técnicas, funcionais e

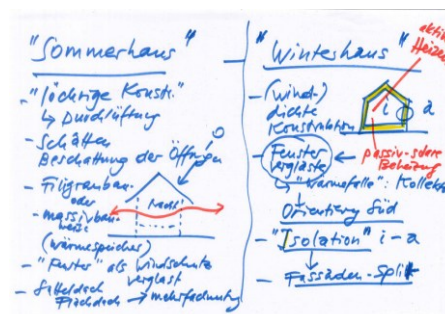


Figura 8 - Aula, Deplazes.



Figura 9 - Casa Torre, Bearth & Deplazes, 2021.

⁴ DEPLAZES, Andreas. *Constructing Architecture: Materials, Processes Structures*. Birkhäuser, 2005.

⁵ *Idem*

Andrea Deplazes (1960) é um arquiteto suíço. Fundador da empresa de arquitetura "Bearth & Deplazes Architekten AG". Além disso, é professor de arquitetura e construção no Instituto Federal de Tecnologia de Zurique (ETH Zurich) e foi fundamental na construção do refúgio nos Alpes Suíços "Monte Rosa Hütte", conhecido pela sua localização e arquitetura futurista e sustentável.

simbólicas. Esta ideia de filigrana desafia a imagem da fachada como um “plano de vidro” e propõe uma leitura mais profunda e espessa da envolvente, onde cada elemento tem um papel estratégico no desempenho ambiental. A fachada eficiente é, nesse sentido, estruturada, articulada e calibrada, não apenas estética.

Esta visão é especialmente relevante quando confrontada com a crítica formulada por Ignacio Paricio⁶, que alerta para a inadequação da transparência como modelo universal, sobretudo no contexto mediterrânico, onde a radiação solar é intensa e o controle térmico passivo é essencial.

Paricio sublinha que, ao contrário dos climas nórdicos, onde o ganho solar direto é desejável, nos climas quentes e secos — como o português — a transparência excessiva torna-se um fator de desconforto térmico e de ineficiência energética. Assim, a transposição acrítica de soluções baseadas em vidro pleno pode resultar em edifícios que dependem fortemente de sistemas de climatização, contrariando os princípios da arquitetura sustentável.

Neste contexto, a problemática central deste estudo emerge:

Como articular fachadas habitacionais em climas mediterrânicos, como o do Porto, de modo a garantir simultaneamente conforto térmico e eficiência energética?

⁶ PARICIO, Ignacio - *La protección solar*. Barcelona: Editorial Bisagra, 1997, ISBN 84-923125-0-5.

Ignacio Paricio (1944) arquiteto e professor espanhol é especialista em construção e tem vindo a realizar estudos sobre a habitação, o respeito pelas condições mediterrânicas e a edificação de fachadas em tijolo.

Qual a proporção ideal entre elementos opacos e transparentes?

E como o projeto arquitetônico pode incorporar conhecimento técnico e sensibilidade climática sem sacrificar a expressão arquitetônica?

Responder a estas questões implica reavaliar criticamente o valor dado à transparência nas linguagens arquitetônicas atuais, considerando tanto os condicionantes físicos (clima, orientação, radiação solar), como os fatores culturais e vernaculares. O equilíbrio entre opacidade e transparência, longe de ser apenas uma decisão formal, é um gesto técnico e climático, profundamente enraizado no lugar.

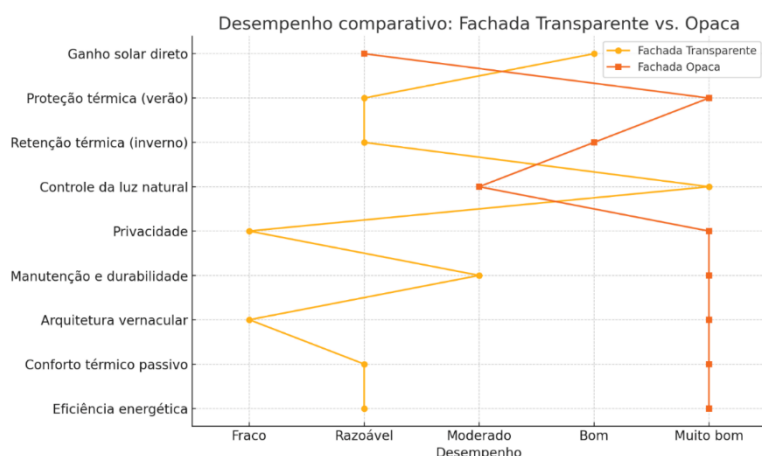


Figura 10 - Comparação do desempenho de fachadas transparentes e opacas segundo critérios bioclimáticos. Baseado em (Givoni 1998), (Yannas 1994), (Szokolay 2004).

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo central investigar de que forma a composição da fachada — particularmente a proporção entre elementos opacos e transparentes — influencia o desempenho energético e o conforto térmico em habitações localizadas no contexto climático e cultural da cidade do Porto. Pretende-se compreender, com base em métodos quantitativos e princípios projetuais consolidados, qual é o impacto real das decisões de projeto sobre as necessidades de climatização dos edifícios, e como essas decisões podem ser informadas por uma abordagem bioclimática e sensível ao lugar.

A pesquisa parte do reconhecimento da fachada como lugar de mediação entre o espaço interior e o meio exterior, não apenas do ponto de vista formal ou compositivo, mas sobretudo na sua capacidade de regular as trocas térmicas, luminosas e ventilatórias. Interessa perceber de que modo diferentes configurações da envolvente — com maior ou menor transparência — alteram as exigências energéticas do edifício, e como essas decisões se articulam com os princípios do desenho solar passivo, da arquitetura vernacular mediterrânica e com os requisitos impostos pela legislação portuguesa em vigor (nomeadamente, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020)⁷.

⁷ Decreto-Lei, n.º 101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW:

<<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

O estudo propõe, assim, uma análise comparativa entre diferentes soluções de fachada, com variações na percentagem de vidro e opaco, simulando o seu comportamento térmico em distintas orientações e condições climáticas. Esta análise será aplicada a um caso de estudo concreto, a habitação projetada pela arquiteta Fernanda Seixas no Porto, que se apresenta como oportunidade para verificar, em contexto real, como os princípios teóricos e as estratégias regulamentares se materializam no projeto.

Ao articular a dimensão técnica do desempenho energético com a dimensão crítica do projeto arquitetónico, a investigação visa contribuir para uma prática mais informada, onde a eficiência não se sobrepõe à arquitetura, mas emerge dela — de um desenho atento, calibrado e consciente das suas implicações no tempo e no lugar.

Caso de Estudo

O objeto central deste estudo é a fachada habitacional contemporânea, compreendida não apenas enquanto expressão formal da arquitetura, mas sobretudo enquanto interface climática e construtiva, responsável por regular as relações entre o espaço interior e o meio exterior. A sua configuração — nomeadamente a proporção entre elementos opacos e transparentes — influencia de forma decisiva o comportamento térmico dos edifícios, sobretudo em contextos urbanos como o da cidade do Porto, onde o clima apresenta desafios específicos: humidade elevada, radiação solar variável e variações sazonais marcadas.

A escolha da fachada como elemento privilegiado de análise decorre do reconhecimento da sua relevância funcional, simbólica e ambiental. Mais do que um simples invólucro, a fachada atua como sistema ativo de mediação energética, e é neste sentido que se propõe a sua leitura e avaliação — técnica, arquitetónica e cultural.

Para concretizar esta análise, a dissertação toma como caso de estudo uma habitação unifamiliar projetada pela arquiteta Fernanda Seixas⁸, localizada na zona do Porto. A escolha desta obra responde a critérios simultaneamente objetivos e críticos. Trata-se de um projeto que permite observar de forma clara as implicações do desenho da envolvente — tanto opaca quanto envidraçada — no desempenho térmico e energético do edifício. Mais do que isso, a obra ganha relevância particular pelo seu enquadramento no percurso da autora: Fernanda Seixas foi uma das primeiras arquitetas em Portugal a integrar de forma consciente e sistemática os princípios do desenho solar passivo no projeto de habitação, num momento em que essas preocupações ainda não ocupavam lugar central no discurso arquitetónico.



Figura 11 - Fernanda Seixas.

Assim, esta dissertação não se limita a estudar um exemplo isolado, mas pretende também valorizar uma abordagem pioneira e crítica, frequentemente marginalizada nos circuitos académicos e profissionais. O estudo da obra de Fernanda Seixas torna-se, por isso, simultaneamente uma ferramenta analítica e um gesto de reconhecimento, propondo-

⁸ **Maria Fernanda Machado Seixas**, (1942-1917), Arquiteta portuguesa.

se revelar a pertinência e atualidade das suas estratégias projetuais.

A investigação sobre o caso de estudo basear-se-á na análise do projeto arquitetónico, nas características construtivas da fachada e na simulação térmica de diferentes cenários de opacidade/transparência, considerando fatores como a orientação solar, a inércia térmica e os requisitos da regulamentação em vigor. Esta análise permitirá aferir até que ponto a obra incorpora, antecipa ou dialoga criticamente com os princípios da arquitetura bioclimática, e como o projeto responde, de forma integrada, às questões técnicas, ambientais e culturais levantadas neste trabalho.

Metodologia

A metodologia deste trabalho estrutura-se a partir da relação entre interpretação crítica do projeto, análise construtiva da envolvente térmica e aplicação prática de cálculos energéticos correntes, com o objetivo de aferir o impacto da composição da fachada — em especial da relação entre opaco e transparente — no desempenho energético da habitação.

O enquadramento conceitual da metodologia assenta nos princípios da arquitetura vernacular e do desenho solar passivo, que fornecem as referências para avaliar o projeto em termos de eficiência e adaptação climática. A arquitetura vernacular é aqui compreendida como um conjunto de estratégias empiricamente refinadas ao longo do tempo, sensíveis ao clima e aos recursos locais, enquanto o desenho solar passivo se refere ao uso

consciente de elementos naturais — como o sol, a inércia térmica e a ventilação — como parte integrante da concepção arquitetónica.

O estudo organiza-se em três etapas principais:

A primeira consiste na análise arquitetónica e construtiva da obra selecionada, uma habitação projetada pela arquiteta Fernanda Seixas, com particular atenção às decisões projetuais relativas à fachada — nomeadamente a proporção entre elementos opacos e transparentes, os materiais utilizados, a orientação solar e o tipo de sombreamento aplicado. A leitura será feita com base em levantamento gráfico, consulta de elementos técnicos do projeto e observação direta da obra.

A segunda etapa envolve a aplicação dos métodos de cálculo de engenharia térmica utilizados nos processos de licenciamento de edifícios em Portugal. Serão utilizados os mesmos procedimentos e modelos regulamentares adotados na prática profissional, em conformidade com o Decreto-Lei n.º 101-B/2020⁹ e o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)¹⁰. O objetivo é avaliar a conformidade da fachada, tal como projetada, com os parâmetros legais, simulando também variações no desenho da envolvente para aferir as implicações de diferentes configurações de opaco/transparente no desempenho energético.

⁹ Decreto-Lei, n.º 101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW:

<<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

¹⁰ Adene - **Guia SCE**. Lisboa: Adene, 2020.

Esses cálculos permitirão estimar, entre outros indicadores:

- Coeficiente de transmissão térmica, (U), das superfícies opacas e envidraçadas;
- O fator solar (g_i ou g_v) dos vãos envidraçados;
- As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic});
- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc});
- Necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc});
- A classificação energética da habitação de acordo com o SCE.

A introdução dos parâmetros legais definidos pelo Decreto-Lei n.º 101-B/2020¹¹, nomeadamente no que respeita à transmitância térmica da envolvente opaca e envidraçada, ao fator solar dos vãos e ao coeficiente de sombreamento, evidencia a centralidade da fachada como elemento regulador do desempenho energético do edifício. Neste contexto, torna-se evidente que a escolha entre uma fachada predominantemente opaca ou transparente não é apenas uma decisão formal ou compositiva, mas implica consequências técnicas e legais diretas.

As fachadas com maior percentagem de vidro, por exemplo, dificultam o cumprimento dos limites de transmitância e aumentam o risco de sobreaquecimento, especialmente em orientações desfavoráveis (sul e poente). Isso exige a adoção de

¹¹ Decreto-Lei, n.º 101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW: <
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

soluções complementares como vidro de alto desempenho, sombreamento externo eficaz (para diminuir o fator), ou ainda caixilharias com corte térmico eficiente — elementos que impactam não só o desempenho, mas também o custo e a linguagem do projeto.

Por outro lado, uma fachada mais opaca tende a facilitar o cumprimento dos requisitos de isolamento térmico, dada a maior inércia térmica dos materiais usados (como alvenaria ou betão), e reduz as cargas térmicas em climas com verões mais quentes, como é o caso do clima do Porto. Contudo, uma opacidade excessiva pode prejudicar o aproveitamento solar no inverno, implicando também uma reflexão sobre o equilíbrio entre proteção e captação solar, um dos princípios centrais do desenho solar passivo.

Assim, a análise dos parâmetros legais serve aqui não apenas como verificação normativa, mas como instrumento crítico para compreender os impactos do projeto de fachada no desempenho do edifício, reforçando a relevância da problemática abordada nesta dissertação: como calibrar a proporção entre opaco e transparente para alcançar conforto térmico e eficiência energética, sem comprometer a intenção arquitetónica?

Na terceira e última etapa, os resultados serão analisados de forma crítica, confrontando-se não apenas com os limites normativos estabelecidos, mas também com os princípios da eficiência passiva, para perceber se o projeto cumpre os requisitos legais apenas formalmente, ou se os transcende através de uma estratégia integrada de desenho.

Ao recorrer a ferramentas reais do exercício profissional, esta metodologia pretende demonstrar que a arquitetura pode — e deve — apropriar-se dos instrumentos técnicos em benefício de uma prática mais consciente, onde o projeto, e não apenas os sistemas, é o verdadeiro motor da eficiência energética.

Estrutura do Trabalho

A presente dissertação organiza-se em torno de cinco capítulos principais, que se articulam de forma progressiva, da definição da problemática até à análise prática aplicada, procurando estabelecer uma linha coerente entre a teoria, o projeto e a verificação técnica.

O primeiro capítulo — Introdução — estabelece o ponto de partida da investigação. Nele são apresentados o tema, a problemática central, os objetivos e o objeto de estudo, assim como a metodologia adotada. Aborda-se o papel das fachadas na arquitetura habitacional e a sua relação com o conforto térmico e a eficiência energética, com particular atenção ao equilíbrio entre elementos opacos e transparentes. Também se introduz a escolha da obra da arquiteta Fernanda Seixas como caso de estudo representativo, tanto pelas suas qualidades projetuais como pelo seu pioneirismo no uso do desenho solar passivo em Portugal.

Segue-se o segundo capítulo, dedicado à Arquitetura Passiva, onde se traça um percurso histórico e crítico sobre as estratégias que, ao longo do tempo, permitiram aos edifícios responder de

forma natural ao clima. Parte-se da arquitetura popular, atravessa-se a experiência portuguesa tradicional e chega-se à contemporaneidade, onde o reencontro com técnicas passivas surge como resposta à crescente pressão energética e ambiental. Este capítulo procura mostrar que o conforto e a eficiência não são conquistas recentes, mas sim um saber sedimentado que pode ser reatualizado criticamente pela arquitetura atual.

O terceiro capítulo centra-se na noção de Conforto Térmico, analisando os mecanismos de perda e de ganho de calor nos edifícios ao longo das estações do ano. Compreender como se comporta termicamente um edifício — em aquecimento durante o inverno e em arrefecimento no verão — é essencial para aferir o impacto das decisões projetuais. Este capítulo estabelece as bases para a leitura técnica do desempenho energético da envolvente, ajudando a interpretar os resultados que surgirão mais adiante no caso de estudo.

No quarto capítulo, intitulado Massa e Transparência, o foco desloca-se diretamente para a fachada. Através da análise da parede opaca e do vão envidraçado, discutem-se os seus desempenhos térmicos, construtivos e simbólicos. A oposição entre massa e transparência, longe de ser uma escolha meramente estética, assume aqui uma importância funcional: afeta o equilíbrio térmico, o consumo energético e a relação sensível entre interior e exterior. A noção de inércia térmica aparece como conceito transversal, ajudando a compreender as diferenças entre materiais e soluções.

O quinto capítulo apresenta o Caso de Estudo: uma habitação unifamiliar situada no Porto, projetada por Fernanda Seixas. Aqui, a investigação passa do plano teórico para a aplicação prática. A obra é caracterizada, os parâmetros de análise são definidos, e a envolvente térmica é estudada através de cálculos baseados nos métodos de verificação regulamentar utilizados em projetos de licenciamento. Comparam-se diferentes configurações da fachada, com mais ou menos envidraçado, analisando-se os seus efeitos sobre o desempenho energético e sobre o cumprimento dos critérios legais. Esta verificação serve não apenas para testar a eficácia de estratégias passivas, mas também para refletir criticamente sobre o papel do arquiteto como agente ativo na construção da sustentabilidade.

Por fim, a dissertação conclui com uma síntese dos resultados alcançados, discutindo as principais implicações para o projeto de arquitetura e sugerindo caminhos possíveis para investigações futuras. A reflexão final aponta para a necessidade de uma prática mais consciente, onde o desenho da fachada, longe de ser apenas expressão formal, se assuma como instrumento climático e cultural.

O corpo principal do trabalho é complementado por anexos temáticos e técnicos, que incluem uma entrevista relevante, esquemas de sistemas passivos, bases de cálculo, quadros comparativos, dados adicionais do caso de estudo. A bibliografia final reúne as fontes que fundamentam e sustentam o percurso teórico e metodológico desenvolvido ao longo da dissertação.



Arquitectura Passiva

1 ARQUITECTURA PASSIVA

A arquitetura, enquanto disciplina projetual enraizada no território, tem historicamente procurado responder às condicionantes impostas pelo meio. Este capítulo parte desse entendimento para abordar um domínio específico — o da arquitetura passiva — não como tendência contemporânea isolada, mas como continuação e formalização de práticas ancestrais que exploram, de forma inteligente, a relação entre edificado e ambiente.

Ao contrário das abordagens convencionais, que muitas vezes delegam o conforto térmico aos sistemas mecânicos, a arquitetura passiva propõe uma resposta integrada desde o projeto: a forma, a orientação, a distribuição dos espaços, os materiais e as soluções construtivas tornam-se elementos ativos na regulação térmica do edifício. Nesta perspectiva, o edifício deixa de ser um recipiente neutro e passa a ser um sistema dinâmico de captação, acumulação, retenção ou dissipação de calor — em função das condições climáticas do lugar.

São diversas as designações utilizadas, tais como “Arquitectura Solar Passiva” ou “Arquitectura Bioclimática”. Em comum, estas abordagens assumem o clima como uma variável fundamental no processo de projetar, procurando tirar partido da energia disponível naturalmente — sobretudo da radiação solar — para alcançar eficiência energética e conforto térmico. Neste contexto, o sol

assume, na sua interação com o edifício, um papel estruturante na concepção arquitetónica.¹²¹³

Artur Pedro Teixeira descreve de forma clara o princípio da arquitetura solar passiva, destacando a integração entre forma construída e desempenho térmico.¹⁴

Contrariamente ao caso de climatização para os sistemas em que se utiliza energia convencionais, um projecto de energia solar passiva considera todos os elementos da construção como parte integrante do sistema de climatização.

As janelas, paredes, chão e tecto são concebidos de forma a desempenhar uma função de recolha, armazenamento, utilização e distribuição de energia solar. Frequentemente os materiais desempenham funções múltiplas. Uma janela voltada ao Sul pode servir para aquecimento e iluminação. As paredes e o chão podem funcionar como estrutura do edifício e como «massas térmicas». As considerações de energia passiva devem fazer parte integrante do projecto e não serem previstas como necessidades futuras.

Dois elementos têm que ser sempre considerados em projectos deste tipo:

Superfícies transparentes de vidro ou de plásticos expostos ao Sol e **massas térmicas** para recolherem e armazenarem calor para utilização posterior.¹⁵

Como afirma o autor, a energia passiva deve estar incluída desde logo no ato de projetar, sublinhando estrategicamente o papel das superfícies envidraçadas e as paredes de massa. Estes dois elementos são sempre centrais neste tipo de

¹² GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

¹³ MONTEIRO, Andreia - **A arquitectura bioclimática : experiência e aplicação em Portugal**. Coimbra: FCTUC, UC, 2011. Dissertação de Mestrado.

¹⁴ TEIXEIRA, Artur. **Energia Solar Passiva - Princípios básicos - Cálculos - Tabelas**. Lisboa: Plátano Editora, SARL, 1984.

¹⁵ *Idem*

abordagem: superfícies transparentes, como o vidro, voltadas ao sol para permitir a entrada da radiação, e elementos de elevada inércia térmica que armazenem calor para posterior utilização. Esta dupla condição define a essência do funcionamento dos sistemas passivos.

Importa, por isso, compreender as variáveis climáticas específicas do local — radiação solar, vento dominante, humidade, precipitação — e identificar de que forma podem ser mobilizadas positivamente na definição dos espaços arquitetónicos e no desempenho térmico da envolvente.¹⁶

Embora inspirada em soluções vernaculares, a arquitetura passiva contemporânea é informada por conhecimento técnico e científico rigoroso, o que permite validar estratégias em função da zona climática, do uso do edifício e da sua envolvente. Este capítulo sistematiza essas estratégias, tendo em vista a sua aplicabilidade prática no projeto de habitação, pretendendo-se evidenciar o equilíbrio entre massa e transparência, quando pensado de forma passiva. Será traçado um percurso que contextualiza historicamente a arquitetura passiva, relacionando-a com práticas vernaculares e abordagens contemporâneas. Serão ainda apresentadas estratégias concretas — orientadas quer para o aquecimento, quer para o arrefecimento passivo — e discutidas em função da

¹⁶ GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

sua aplicabilidade ao contexto português, com especial ênfase na habitação unifamiliar.

1.1 Arquitectura Vernacular: Um Legado de Adaptação Ambiental

A arquitetura vernacular é frequentemente evocada como paradigma de sustentabilidade, sendo muitas vezes apresentada como modelo alternativo às práticas da construção contemporânea. Trata-se de uma arquitetura desenvolvida sem recurso a planeamento formal, baseada em soluções testadas empiricamente e transmitidas de geração em geração, com base na adaptação às condições locais — sejam estas climáticas, topográficas, sociais ou materiais.

O termo “vernacular”, de origem anglo-saxónica, foi amplamente divulgado por Paul Oliver¹⁷, que o utiliza para designar uma arquitetura construída pelo povo e para o povo, com recursos locais e em resposta direta ao ambiente¹⁸. Esta definição aproxima-se da noção portuguesa de “arquitetura popular”¹⁹, usada para descrever o saber fazer construtivo das populações não eruditas, e que Jorge Mascarenhas²⁰ define como:

¹⁷ **Paul Hereford Oliver** (1927 - 2017) historiador de arquitetura inglês. Estudou em especial as tradições da arquitetura vernacular pelo mundo e foi defensor da necessidade da arquitetura vernacular para garantir a sustentabilidade, cultural e económica.

¹⁸ FERNANDES, Maria - **Arquitetura vernácula**. kairós - Boletim do Centro de Estudos em Arqueologia, Artes e Ciências do Património, 01 de 10 de 2019: 60-69.

¹⁹ *idem*

²⁰ MARCARENHAS, Jorge - **Sistemas de Construção - XV - Arquitectura Popular Portuguesa**. Lisboa: Livros Horizonte, Lda, 2015.

Jorge Morarji dos Remédios Dias Mascarenhas, (1960.-) Arquiteto e professor de Desenho do Instituto Politécnico de Tomar. Em 2025, foi distinguido com o Prémio Nacional de Arquitetura, na categoria “Ensino e Investigação”.

Arquitetura popular é aquela que é feita por pessoas simples, não eruditas, utilizando recursos (materiais e ferramentas) disponíveis localmente.

Este saber construtivo é inseparável da observação atenta das condições ambientais e da eficiência na utilização dos recursos. Tal como observa Vitrúvio no seu Tratado de Arquitectura (Livro II, Cap. I, § 5.º)²¹, as populações adaptavam-se às especificidades do território com soluções criativas:

Os frígios, que habitam em zonas de planície, desprovidos de madeira por causa da ausência de florestas, escolhem elevações naturais, escavam os seus interiores e, abrindo caminhos, dilatam os espaços até onde a natureza do lugar permitir. [...] Estas formas de cobertura garantem Invernos quentíssimos e Verões fresquíssimos.

Esta descrição sintetiza a essência da arquitetura vernacular: uma construção anónima, funcional e enraizada no lugar. Como tal, não deve ser vista como um modelo replicável em absoluto, mas como um repositório de princípios adaptativos que podem — e devem — ser reinterpretados à luz das necessidades contemporâneas.

Com efeito, não seria viável, nem tecnicamente nem ambientalmente, construir hoje todos os edifícios em granito, como na zona norte do país, ou em taipa, como no sul. As exigências estruturais, os modos de vida e os ritmos de construção são outros. Mas aquilo que pode e deve ser resgatado da arquitetura vernacular são os seus critérios bioclimáticos, a sua

²¹ VITRUVIO - **Tratado de Arquitectura**. 3ª. Traduzido por M. Justino Maciel. Lisboa: IST Press, 2009.

Marco Vitrúvio Polião, (em latim, *Marcus Vitruvius Pollio*), (século I a.C.) Arquitecto e Engenheiro Romano.

leitura sensível do lugar, e a sua articulação inteligente entre massa térmica e transparência.

Em muitas construções vernaculares portuguesas, a massa opaca — paredes espessas de pedra, taipa ou adobe — não cumpre apenas funções estruturais, mas assume um papel fundamental na regulação térmica: armazena calor nos meses frios e protege contra o calor excessivo nos meses quentes. Por outro lado, a transparência é utilizada de forma comedida e estratégica, com pequenas aberturas orientadas para sul ou poente, garantindo luz e calor solar onde são desejáveis, e evitando perdas ou ganhos térmicos indesejados.

Esta lógica revela um entendimento profundo da relação entre o clima, o material e a forma construída. A arquitetura vernacular não romantiza a transparência, como frequentemente ocorre na arquitetura contemporânea; pelo contrário, privilegia a contenção, a proteção, a sombra, e a espessura como estratégias ativas de conforto térmico. A transparência, quando existe, é sempre regulada — por portadas, beirados, vãos reduzidos ou dispositivos de sombreamento —, e nunca gratuita.

Neste contexto, a investigação contemporânea pode (e deve) olhar para a arquitetura vernacular como um campo fértil de estratégias passivas, profundamente ajustadas ao clima e de grande pertinência no atual quadro energético. A sua integração crítica no projeto atual — como defende Paul Oliver e como se confirma nas leituras contemporâneas reunidas em *Arquitectura Popular*:

Tradição y Vanguarda (André & Sambricio, eds.)²² — permite reintroduzir a noção de “lugar” e “resposta climática” como centrais no processo de projetar.

É, pois, com este entendimento alargado que se pode encarar a arquitetura popular portuguesa, não como um legado ultrapassado, mas como uma reserva viva de inteligência construtiva, que alia materiais locais, soluções empíricas e conhecimento ambiental a uma eficácia difícil de replicar por meios puramente tecnológicos.

1.2 Arquitectura Popular portuguesa e Relevância Bioclimática

Em Portugal, a arquitetura popular desenvolveu-se como resposta direta às condições concretas do território. Sem recorrer a meios técnicos sofisticados, as populações construíram com os materiais disponíveis localmente, adaptando as soluções construtivas às características climáticas e culturais de cada região. Este modo de construir, empírico, mas não ingénuo, revela uma inteligência ambiental que continua a ser altamente pertinente para os desafios atuais do projeto arquitetónico. A análise dos edifícios tradicionais portugueses — nas suas formas, materiais e implantações — permite identificar estratégias passivas validadas pela experiência e profundamente enraizadas nas paisagens construídas.

²² ANDRÉ, Paula; SAMBRICIO, Carlos - **Arquitectura Popular - Tradição e Vanguarda**. Lisboa: ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, 2016.

Paula André, doutorada em Arquitetura pelo ISCTE-IUL e mestre em História da Arte pela FCSH-UNL. É professora no Departamento de Arquitetura e Urbanismo do ISCTE-IUL e coordena diversos núcleos e projetos de investigação nacionais e internacionais em arquitetura, cultura visual, património e diplomacia cultural. **Carlos Sambricio**, professor catedrático de História da Arquitetura e do Urbanismo na Escola Técnica Superior de Arquitetura de Madrid (ETSAM).

Como salientam Ernesto Veiga de Oliveira, Fernando Galhano e Benjamim Pereira na sua obra fundamental sobre a arquitetura tradicional portuguesa²³, o habitat popular resulta da confluência de múltiplos fatores: a geografia física, os modos de vida, as necessidades de produção, os recursos naturais e, naturalmente, o clima. A casa popular não é, portanto, produto de estilo ou intenção estética, mas antes expressão coerente de uma adaptação funcional e ecológica ao lugar. Este entendimento é reforçado pelo olhar abrangente de Orlando Ribeiro²⁴, que associou com clareza a diversidade geográfica portuguesa à variabilidade morfológica das formas de habitar, defendendo que a arquitetura é, antes de mais, um fenómeno geográfico²⁵.

Na região de Trás-os-Montes, o inverno chega com dureza e as amplitudes térmicas são acentuadas. As casas, muitas vezes edificadas em granito ou xisto, recorrem à elevada massa térmica desses materiais para estabilizar as variações de temperatura: absorvem lentamente o calor durante o dia e libertam-no à noite, num ciclo natural que dispensa tecnologia. A organização espacial é também funcional: o rés-do-chão acolhe animais ou armazéns, funcionando como colchão térmico para os pisos superiores, destinados à habitação. As janelas, discretas e viradas preferencialmente a sul, surgem como instrumentos de transparência controlada — pontos precisos de entrada solar nos



Figura 13 - Habitação tradicional – Sonim - Nordeste Transmontano. A varanda no quadrante Sul



Figura 14 - Casa em Trás-os-Montes, Vila Boa.



Figura 15 - Casa em Pampilhosa da Serra.

²³ GALHANO, Fernando; OLIVERIA, Ernesto - **Construção Tradicional Portuguesa**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992

²⁴ Orlando Ribeiro (1911-1997), geógrafo e historiador português. O seu percurso internacional proporcionou-lhe quatro títulos de *doutor honoris causa* por universidades estrangeiras.

²⁵ GALHANO, Fernando; OLIVERIA, Ernesto - **Construção Tradicional Portuguesa**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992

meses frios, mas suficientemente pequenas para evitar perdas térmicas. Neste equilíbrio entre massa opaca e abertura ponderada, manifesta-se uma inteligência que, embora empírica, se revela notavelmente eficaz.

Mais a sul e a oeste, nas Beiras, o clima torna-se mais instável, situado entre o atlântico húmido e o interior seco. Aqui, a arquitetura responde com maior variedade formal e material: combinam-se a pedra, a madeira e a cal, surgem alpendres, beirados e muros altos. As construções ganham robustez e espessura, mas também flexibilidade. As janelas são um pouco maiores, as varandas mais frequentes, permitindo ganhos solares no inverno e ventilação no verão, quando protegidas por elementos sombreados. A transparência, neste caso, surge de forma mais aberta, mas sempre mediada por dispositivos que regulam a sua eficácia térmica. Como salientam Gonçalves e Graça²⁶, estas zonas de transição exigem uma conjugação equilibrada de ganhos solares diretos e ventilação eficaz, o que as construções beirãs parecem aplicar com economia e precisão.

Já no litoral atlântico, onde o clima é mais ameno e húmido, a resposta arquitetónica afasta-se das preocupações com isolamento e aproxima-se da questão da renovação de ar. As casas são muitas vezes mais abertas, com vãos maiores, alpendres e galerias envidraçadas, revelando uma relação mais livre com a transparência. Mas mesmo aqui, a lógica



Figura 16 - Casa em Albergaria-a-Velha.



Figura 17 - Casa em Moura.

²⁶ GONÇALVES, Hélder ; GRAÇA, João.Mariz. - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

térmica está presente: os vãos são protegidos por portadas ou persianas, os beirais projetam sombra, os pisos térreos são elevados ou ventilados. A massa térmica perde protagonismo, substituída por uma estratégia mais dinâmica, baseada na ventilação cruzada e na proteção solar ajustável. A arquitetura responde, assim, à maior humidade e à menor exigência térmica com leveza construtiva e regulação ambiental inteligente.

No Alentejo, o clima impõe regras diferentes. O calor seco e prolongado exige contenção. A arquitetura responde com paredes espessas de taipa ou adobe, pintadas de branco para refletir o sol e evitar a absorção de calor. As casas são baixas, de um piso só, frequentemente organizadas em torno de pátios interiores que favorecem o arejamento e criam microclimas sombreados. Aqui, a transparência é quase ausente. Os vãos são reduzidos ao mínimo necessário, protegidos por portadas e sombreamentos permanentes. A massa térmica, espessa e opaca, assume o papel principal: é ela que protege do calor diurno e conserva a frescura noturna. A ventilação cruzada, feita de madrugada ou ao anoitecer, completa o ciclo bioclimático. Neste cenário, a opacidade deixa de ser obstáculo e transforma-se em estratégia ativa de conforto, que responde com contenção e sabedoria aos excessos do clima.

Estes exemplos ilustram como a arquitetura popular portuguesa articula, de forma sensível e eficaz, os dois grandes critérios da performance térmica: a massa e a transparência. Em Trás-os-Montes, equilibra-se a captação solar com a acumulação térmica; nas Beiras, ajusta-se a orientação e a forma

às transições climáticas; no Alentejo, privilegia-se a inércia e o sombreamento. Em todos os casos, há uma clara racionalidade ambiental, que traduz uma leitura afinada do território, da luz, do vento e das estações.

De Trás-os-Montes ao litoral, das Beiras ao Alentejo — revela-se uma mestra comum: a observação do lugar. A massa e a transparência não se opõem por princípio, mas são ponderadas segundo a necessidade térmica e funcional de cada território.

Na leitura contemporânea, como propõem Paula André e Carlos Sambricio em *Arquitectura Popular: Tradição y Vanguardia*²⁷, este saber vernacular deve ser reenquadrado não como um modelo fechado, mas como uma matriz de estratégias adaptativas — capazes de dialogar com as exigências atuais de conforto, sustentabilidade e identidade. Neste sentido, o jogo entre opaco e transparente torna-se mais do que um tema técnico: é uma questão de cultura arquitetónica, de relação com o território e de crítica aos modelos genéricos que ainda hoje dominam a construção contemporânea.

O desafio está em transpor criticamente os seus princípios — adequação ao clima, economia de meios, uso consciente dos materiais, integração no lugar — para a prática contemporânea, aliando o saber antigo às exigências atuais de conforto, desempenho e expressividade formal.

Neste reencontro entre tradição e inovação reside a possibilidade de repensar a habitação como arte de

²⁷ ANDRÉ, Paula; SAMBRICIO, Carlos - **Arquitectura Popular - Tradição e Vanguarda**. Lisboa: ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, 2016.

viver no território, em harmonia com os seus ritmos e limites. A arquitetura popular, com as suas soluções de massa térmica, transparência seletiva e orientação sensível, oferece-nos um reportório de estratégias passivas que podem — e devem — ser integradas no desenho arquitetónico como ferramentas de base, não como exceções.

1.3 Estratégias Solares Passivas

A arquitetura solar passiva consiste na integração, desde a fase inicial do projeto, de estratégias construtivas que aproveitam os recursos naturais disponíveis — sobretudo o sol, o vento, a inércia térmica dos materiais e a ventilação natural — com o objetivo de alcançar conforto térmico interior com o mínimo consumo energético. Estas estratégias assentam numa lógica de eficiência desde a origem: o edifício não deve ser compensado por sistemas mecânicos, mas desenhado para funcionar por si.

Ao contrário das soluções tecnológicas convencionais, que tendem a intervir após o projeto arquitetónico estar definido, as estratégias passivas fazem parte da concepção — determinam a forma do edifício, a sua orientação, a espessura das suas paredes, a proporção e posição dos vãos, o tipo de sombreamento. São, portanto, uma abordagem integrada, onde o desenho e o desempenho energético não se separam.

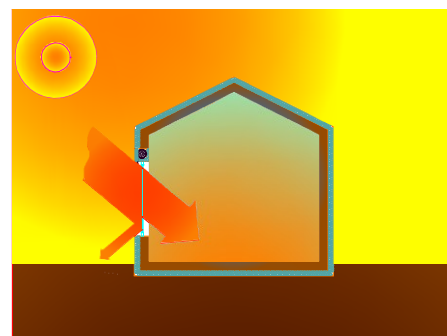


*Figura 18 - Estratégia passiva-
Maximização de ganhos solares*

Na base destas estratégias está uma compreensão climática e territorial do lugar onde se constrói. Em Portugal, com o seu clima mediterrânico de variações significativas entre inverno e verão, as estratégias passivas devem ser adaptadas a esta

dualidade: captação de calor solar no inverno e proteção contra o sobreaquecimento no verão.

A aplicação destas estratégias pode ser organizada em dois grandes conjuntos: estratégias para o inverno (ganhos e retenção de calor) e estratégias para o verão (evitação de ganhos excessivos e arrefecimento passivo).

Estratégias para o Inverno: Captação e Armazenamento de Calor

Durante o inverno, o principal objetivo é maximizar os ganhos solares e reduzir as perdas térmicas. Neste sentido, a transparência controlada torna-se uma aliada. A abertura de vãos envidraçados orientados a sul permite a entrada direta da radiação solar nos espaços interiores, funcionando como fonte natural de aquecimento. Esta estratégia simples exige, contudo, alguns cuidados:

- Os vãos devem ser dimensionados em função do volume a aquecer, da latitude local e da capacidade térmica da construção;
- Os materiais interiores — como pavimentos e paredes expostos — devem ter massa térmica elevada (como alvenaria, betão ou pedra), para armazenar o calor recebido e libertá-lo de forma gradual ao longo da noite;
- Os vãos orientados a norte, por outro lado, devem ser minimizados, por estarem mais expostos às perdas térmicas e não contribuírem significativamente para ganhos solares.

A combinação entre transparência solar e massa térmica é, portanto, central ao desempenho passivo:

o vidro capta; a massa guarda. Sem esta articulação, o ganho solar pode tornar-se ineficaz ou mesmo contraproducente — resultando num aquecimento excessivo durante o dia e num arrefecimento rápido durante a noite.

Outras estratégias complementares para o inverno incluem:

- Isolamento térmico eficaz da envolvente opaca (paredes, coberturas, pavimentos);
- Utilização de vidro duplo ou triplo com caixilharia com corte térmico;
- Dispositivos de proteção noturna dos vãos (portadas, cortinas térmicas);
- Concepção compacta do edifício, reduzindo as superfícies de dispersão térmica.

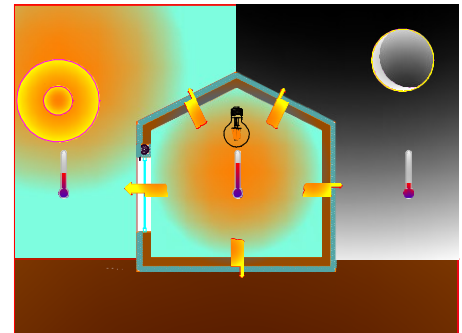


Figura 19 - Estratégia passiva- Isolamento eficaz - Inverno

Estratégias para o Verão: Proteção e Arrefecimento Passivo

Nos meses quentes, o foco desloca-se para a evitação do sobreaquecimento. A radiação solar direta torna-se, neste caso, um problema a mitigar. É nesta fase que a transparência se revela mais problemática, sobretudo se não for protegida adequadamente. Superfícies envidraçadas sem sombreamento acumulam calor rapidamente, transformando os espaços interiores em estufas.

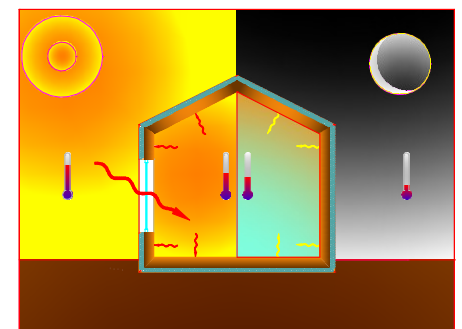


Figura 20 - Estratégia passiva- inércia forte

Segundo Givoni²⁸ e Szokolay²⁹, o vidro é um material de baixa inércia térmica e elevada transmitância, o

²⁸ GIVONI, Baruch - **Climate considerations in building and urban design**. Wiley, 1998.

²⁹ SZOKOLAY, Steven - **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Oxford: Elsevier Science, 2004.

que o torna ineficaz em contextos de calor intenso, se não for associado a dispositivos de controlo solar. Em climas mediterrânicos, como o português, o excesso de transparência pode comprometer a eficiência do edifício, aumentando a dependência de sistemas de arrefecimento ativo.

As principais estratégias de proteção solar e arrefecimento incluem:

- Sombreamento eficaz dos vãos — através de beirados, portadas, brises-soleil, vegetação ou varandas;
- Utilização de vidros com fator solar reduzido (g-value);
- Ventilação cruzada noturna, que permite a expulsão do ar quente acumulado;
- Implantação cuidadosa no terreno, aproveitando o sombreamento natural e a exposição a ventos predominantes;
- Pintura clara da envolvente exterior, com elevada refletância térmica (sobretudo no sul do país).

Tal como no inverno, a massa térmica volta a ser importante — não para acumular calor, mas para amortecer os picos térmicos, estabilizando a temperatura interior. As paredes espessas de alvenaria, terra ou betão atuam como “amortecedores térmicos”, retardando o aquecimento durante o dia e libertando calor quando a temperatura exterior é mais baixa.

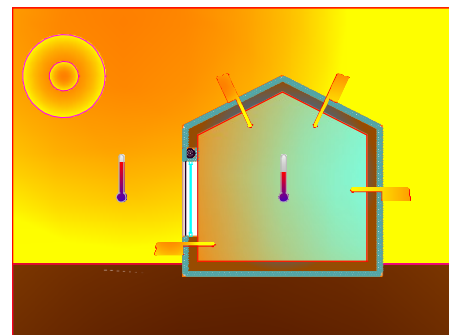


Figura 21 - Estratégia passiva- Isolamento eficaz - Verão

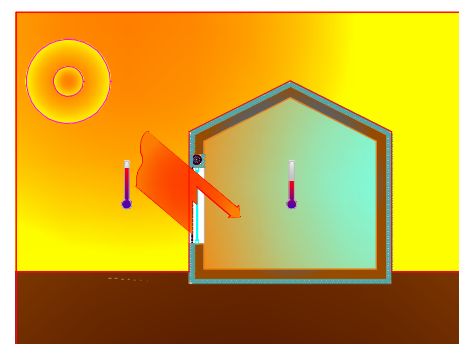


Figura 22 - Estratégia passiva- Sombreamento/protecção solar dos envidraçados

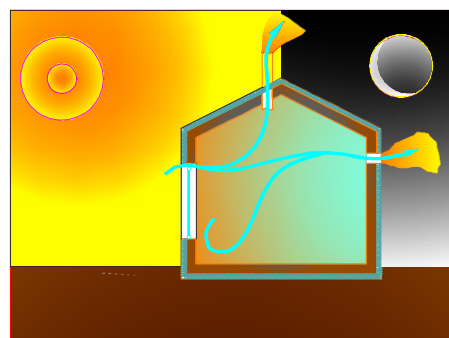
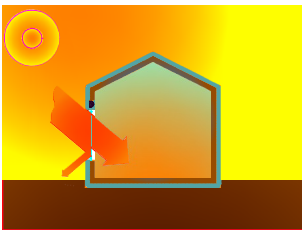
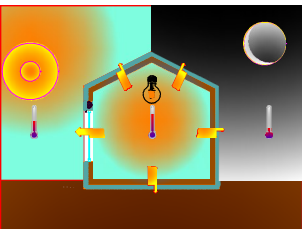
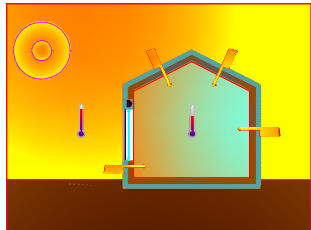
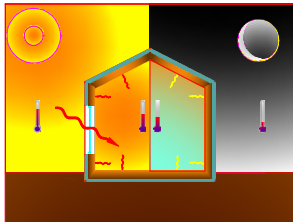
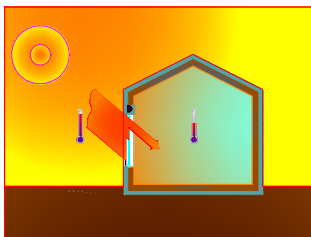
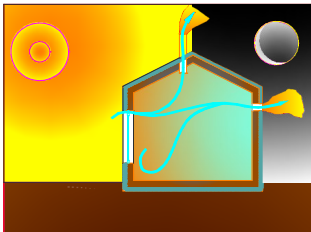


Figura 23 - Estratégia passiva- ventilação cruzada para arrefecimento

Adotar estratégias passivas não é necessariamente adotar sistemas complexos, tanto de dimensionamento como de execução.

Tabela 1 - Sistemas passivos de utilização em qualquer edifício

Sistemas Passivos	Estratégias Bioclimáticas	
	Inverno	Verão
Ganhos directos	Promover Ganhos Solares 	
Isolar envolvente	Reduzir perdas por condução 	Reduzir ganhos por condução 
Paredes pesadas com isolamento pelo exterior	Inércia Forte 	
Sombrear envidraçados		Reduzir ganhos Solares 
Ventilação		Ventilação transversal (noturna) 

Um olhar atento ao funcionamento do edifício e a componentes que todos possuem permite adotar estratégias passivas que valorizam a arquitetura.

A tabela 1, faz uma síntese das estratégias que podem ser adotadas em qualquer edifício.³⁰

A Relação entre Massa e Transparência: Um Equilíbrio Necessário

A oposição entre massa opaca e transparência não deve ser lida de forma simplista. Cada solução responde a uma função específica, num jogo de equilíbrios que deve ser cuidadosamente calibrado. Em excesso, a opacidade conduz a ambientes fechados e pouco iluminados; a transparência, quando excessiva, compromete o conforto térmico e a eficiência energética. Na arquitetura passiva, essa tensão é produtiva: desenha-se com base em princípios térmicos, mas também em critérios de uso, orientação, luz, ventilação e expressão arquitetónica.

Como afirma Andreas Deplazes³¹ a fachada deixou de ser um elemento monolítico para se tornar num elemento construtivo composto por várias camadas, cada uma cumprindo uma função específica.

Esta leitura “espessa” da fachada contrasta com a tendência contemporânea para o vidro total — prática comum em edifícios de escritórios, muitas vezes importada de contextos climáticos completamente diferentes. Em climas

³⁰ GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

³¹ DEPLAZES, Andreas - **Constructing Architecture: Materials, Processes Structures**. Birkäuser, 2005, p.18

mediterrânicos, como o do Porto, o desafio está precisamente em recuperar a espessura construtiva da fachada, articulando inteligentemente as zonas de opacidade com áreas transparentes protegidas, para criar um ambiente interno estável e confortável durante todo o ano.

1.4 Da Arquitetura Vernacular à

Contemporânea: Lições e Reinterpretações

A arquitetura vernacular, tantas vezes reduzida à sua imagem pitoresca, guarda na verdade um conhecimento profundo sobre o clima, os materiais e o habitar. Esse saber — não escrito, mas construído — resulta de séculos de experimentação, erro e adaptação. Mais do que um repositório de formas regionais, ela representa uma resposta sensível às condições do lugar, onde cada escolha construtiva — da espessura da parede à orientação da janela — é guiada por uma lógica de sobrevivência, conforto e economia de meios.

Paul Oliver, no seu vasto trabalho sobre arquitetura vernacular, insiste que estas formas de construir, por mais humildes que pareçam, constituem verdadeiros modelos de resiliência climática. E talvez por isso, num momento em que se repensa a construção face às alterações climáticas, à crise energética e à necessidade de reduzir consumos, o olhar sobre a arquitetura vernacular ressurge com renovado interesse. Não como modelo a imitar literalmente, mas como sistema de princípios a reinterpretar.

No caso português, esse património é particularmente rico e diversificado. Como observou Orlando Ribeiro, a enorme variedade geográfica do

território — com as suas serras, planícies, vales e zonas costeiras — gerou formas de habitar distintas, sempre em estreita sintonia com os recursos locais e com o clima. E é nessa diversidade que reside uma das grandes lições da arquitetura vernacular: não há soluções universais. Há respostas ajustadas.

Se nas regiões de Trás-os-Montes e Beiras a massa térmica domina, com paredes de granito e aberturas mínimas voltadas a sul, no Alentejo, o protagonismo passa para os muros espessos de taipa ou adobe, com fachadas quase cegas, pensadas para evitar o calor do sol implacável. No litoral atlântico, por sua vez, o clima ameno e húmido convida a uma arquitetura mais aberta e ventilada, onde a transparência é utilizada com parcimónia, protegida por dispositivos simples — portadas, beirados, sombras vegetais.

Esta relação entre massa e transparência, que na arquitetura contemporânea tantas vezes se apresenta como uma escolha estética, era — na arquitetura popular — uma decisão de sobrevivência. A massa térmica, como elemento estabilizador, e a transparência, como ponto de entrada e regulação solar, funcionavam em conjunto, num equilíbrio cuidadosamente orquestrado pelo saber empírico. Como sublinham Gonçalves e Graça³², a inteligência bioclimática das soluções tradicionais está justamente nesta articulação: controlar os fluxos térmicos sem recorrer a meios externos.

³² GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

Ora, o desafio do projeto contemporâneo reside precisamente em recuperar essa lógica integrada, mas com as ferramentas, os materiais e as exigências de hoje. A arquitetura passiva não propõe um regresso ao passado, mas sim uma releitura crítica. Pergunta-se: como podemos aplicar hoje os princípios da inércia térmica, da ventilação natural ou da orientação solar sem comprometer a linguagem arquitetónica, o conforto ou os requisitos normativos?

A resposta exige sensibilidade e rigor técnico. O uso de grandes superfícies envidraçadas — tão presente na linguagem contemporânea — só é compatível com a eficiência se vier acompanhado de estratégias de proteção solar, de materiais com baixa transmitância, de sistemas de sombreamento ativos ou passivos. A transparência, por si só, não é virtude. Quando mal dimensionada ou mal orientada, torna-se fonte de desconforto e consumo excessivo.

Por outro lado, a massa térmica, tantas vezes desvalorizada em edifícios leves ou pré-fabricados, continua a ser uma aliada fundamental na estabilização térmica dos espaços habitacionais. Incorporá-la no projeto contemporâneo não significa reproduzir muros de um metro de espessura, mas entender que alguns elementos opacos estratégicos — paredes interiores, pavimentos ou coberturas pesadas — podem contribuir significativamente para a eficiência térmica, reduzindo picos de calor e frio, e diminuindo a necessidade de climatização mecânica.

Neste reencontro entre o saber antigo e o conhecimento técnico atual reside uma oportunidade rara: a de construir uma arquitetura realmente enraizada no território, cultural e climaticamente consciente, onde as soluções passivas não são imposições externas, mas ferramentas do próprio desenho. Como sublinham Paula André e Carlos Sambricio no livro *Arquitectura Popular: Tradição y Vanguarda*³³, a arquitetura popular deve ser lida como um campo fértil de inovação silenciosa — um património de estratégias que, longe de obsoletas, aguardam ser reativadas pelo olhar crítico do arquiteto contemporâneo.

A passagem da arquitetura vernacular para a arquitetura passiva contemporânea não é uma rutura, mas uma transição por refinamento. A intuição dá lugar à simulação; o empirismo, ao cálculo. Mas a essência permanece: projetar com o clima, com o lugar, com os recursos disponíveis.

E é precisamente essa passagem que esta investigação procura explorar: como essas estratégias podem ser integradas, hoje, num projeto habitacional localizado no Porto, cruzando legislação, desempenho térmico e intenção arquitetónica. O capítulo seguinte — centrado na análise térmica da envolvente — retoma esta reflexão à luz do caso de estudo, onde se testam diferentes composições de fachada e se medem os efeitos concretos da escolha entre opaco e transparente.

³³ ANDRÉ, Paula; SAMBRICIO, Carlos - **Arquitectura Popular - Tradição e Vanguarda**. Lisboa: ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, 2016.



Conforto Térmico

2 CONFORTO TÉRMICO

Tendo em conta os objectivos traçados na introdução, este capítulo é desenvolvido tendo como linha orientadora o definido na regulamentação em vigor, nomeadamente, Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro³⁴, e as portarias e despachos que o regulamentam, particularmente o Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho³⁵.

2.1 Da teoria bioclimática à regulamentação europeia

O conforto térmico é um dos conceitos estruturantes da arquitetura bioclimática e sustentável. A sua relevância ultrapassa a percepção subjetiva de bem-estar, assumindo-se como critério técnico, científico e normativo que orienta o projeto arquitetónico e o planeamento urbano. Desde os trabalhos pioneiros de Victor Olgyay até à sistematização normativa da EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), observa-se uma evolução que vai da reflexão teórica à institucionalização legal. Neste capítulo cruzam-se os contributos de Olgyay, Yannas, Szokolay e Givoni, destacando as suas ferramentas gráficas e metodológicas, e relaciona-os com a transposição portuguesa da EPBD e a sua operacionalização no Manual SCE.

³⁴ Decreto-Lei, n.º 101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW: <
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

³⁵ Despacho n.º 6476-H/2021. D.R. II Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/6476-h-2021-166300890>>

Em *Design with Climate*³⁶, Victor Olgyay inaugura uma abordagem sistemática ao estudo da relação entre arquitetura e clima. Para o autor, “the architect must design with climate, not against it”³⁷. A sua célebre carta bioclimática tornou-se uma ferramenta metodológica essencial, permitindo identificar estratégias passivas adequadas a diferentes condições ambientais, como sombreamento, ventilação natural ou aproveitamento da radiação solar.

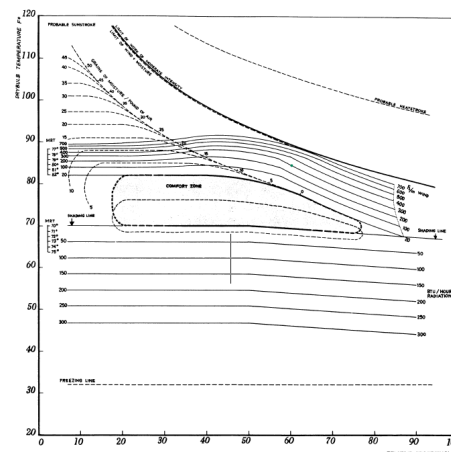


Figura 25 - Carta Bioclimática.

Olgyay sublinha ainda que o conforto não é apenas uma condição física, mas também uma apreciação subjetiva do homem, influenciada por fatores

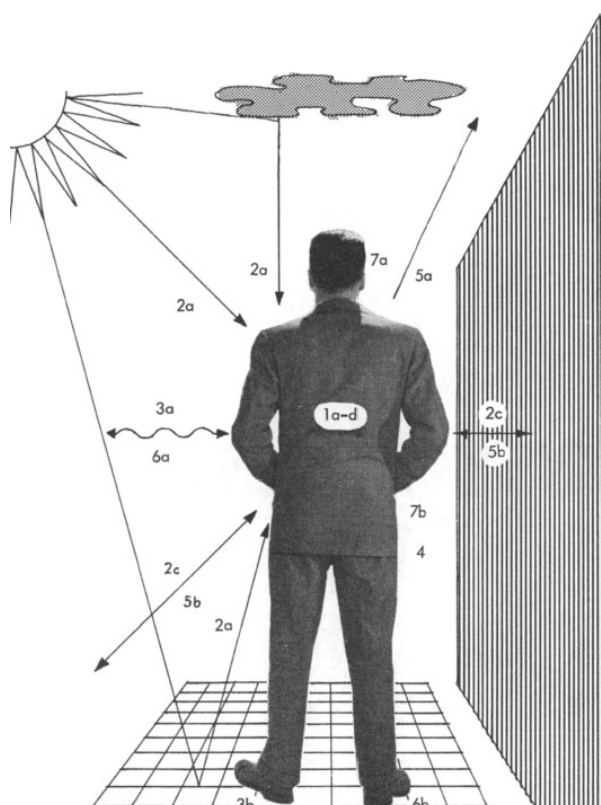


Figura 26 - Trocas de calor entre o ser humano e o ambiente.

GANHOS

1. Calor produzido por:

- a) Processos basais
- b) Atividade
- c) Processos digestivos, etc.
- d) Tensão muscular e tremores em resposta ao frio

2. Absorção de energia radiante:

- a) Do sol diretamente ou refletido
- b) De radiadores brilhantes
- c) De objetos quentes que não brilham

3.º Condução de calor em direção ao corpo:

- a) Do ar acima da temperatura da pele
- b) Pelo contacto com objetos mais quentes

4. Condensação da humidade atmosférica (ocasional)

PERDAS

5. Radiação externa:

- a) Para o "céu"
- b) Para ambientes mais frios

6.º Condução de calor que sai do corpo:

- a) Para o ar abaixo da temperatura da pele (acelerado pelo movimento do ar-convecção)
- b) Pelo contacto com objetos mais frios

7. Evaporação:

- a) Do trato respiratório
- b) Da pele

³⁶ OLGAY, Victor. - **Design with Climate - Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 2015.

³⁷ OLGAY, Victor. - **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton University Press, Princeton, 1963, p.22.

fisiológicos, psicológicos e culturais. A arquitetura, portanto, deve ser entendida como mediadora entre o meio ambiente e a experiência sensorial do indivíduo.

Em *Solar Energy and Housing Design*³⁸, Yannas demonstra como a forma do edifício, a sua orientação e a organização dos espaços internos podem potenciar ganhos solares passivos, reduzir perdas térmicas e melhorar a ventilação natural. Afirma que *“the building envelope is the first line of defense and the first opportunity for energy efficiency”*³⁹.

Os seus diagramas solares e estudos de ventilação cruzada ilustram como a arquitetura pode, desde a génese, responder ao clima, transformando o edifício num sistema ativo de regulação ambiental.

Em *Introduction to Architectural Science*⁴⁰, Szokolay sistematiza os fundamentos físicos do conforto ambiental. Citando a ASHRAE 55, define conforto como *“that condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”*⁴¹. A sua proposta de zona de conforto adaptativo reconhece que o conforto não é absoluto, mas relativo, variando em função de fatores culturais, climáticos e até psicológicos.

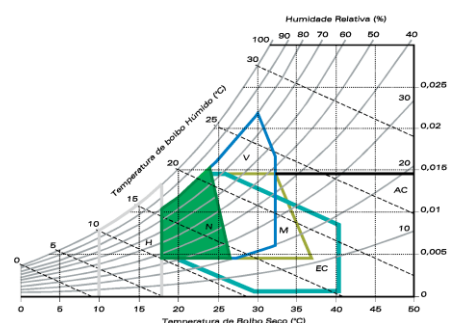


Figura 27 - Carta Bioclimática de Givoni.

Em *Climate Considerations in Building and Urban Design*⁴², Givoni amplia a análise para a escala

³⁸ YANNAS, Simos - **Solar energy and housing design**. Londres: Architectural Association Publications, 1994.

³⁹ *idem*, p.15.

⁴⁰ SZOKOLAY, Steven - **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Oxford: Elsevier Science, 2004.

⁴¹ *idem*, p.34.

⁴² GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, 1998.

urbana, demonstrando como a morfologia das cidades, a densidade edificada, a orientação das ruas e a presença de vegetação influenciam o microclima. Afirmar que *“urban form and vegetation can significantly modify the microclimate, thus affecting thermal comfort at both building and urban scales”*⁴³.

A sua carta bioclimática propõe estratégias diferenciadas para distintos contextos climáticos, desde o arrefecimento evaporativo em climas áridos até ao aproveitamento da massa térmica em regiões de grande amplitude térmica.

A convergência destes contributos encontra-se hoje na Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), transposta em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020⁴⁴. Esta legislação define parâmetros de conforto térmico para edifícios novos e renovados, incluindo intervalos de temperatura operativa e critérios de ventilação e qualidade do ar.

Assim, a noção de conforto térmico, inicialmente formulada em termos teóricos e experimentais, é hoje institucionalizada como critério normativo e instrumento de política pública.

⁴³ GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. John Wiley & Sons, 1998, p.47.

⁴⁴ Decreto-Lei, n.º 101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW: <
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

2.2 A operacionalização normativa no Manual SCE

Conforto geral do edifício

O Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), aprovado pelo Despacho n.º 6476-H/2021⁴⁵, operacionaliza a EPBD em Portugal. Define metodologias de cálculo que asseguram que os edifícios mantêm temperaturas interiores dentro da zona de conforto, reduzem consumos energéticos através de soluções passivas que integram ventilação e qualidade do ar como parte do conforto global.

O conforto térmico é avaliado pelo desempenho energético, no cálculo do balanço entre as perdas e os ganhos energéticos que integra ganhos solares, perdas por transmissão e ventilação e cargas internas. Tendo ainda em conta a eficiência dos equipamentos necessários para a manutenção da temperatura de conforto, (para edifícios de habitação 18°C no inverno e 25°C no verão), nos períodos em que não é possível de forma passiva

De modo simplificado são definidas duas estações, no período de um ano, a de aquecimento e a de arrefecimento, de acordo com a adaptação regulamentar⁴⁶ da Norma EN ISO 13790⁴⁷, que aplica

⁴⁵ Despacho n.º6476-H/2021. D.R. II Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/6476-h-2021-166300890>>

⁴⁶ *idem*

⁴⁷ ISO/TC 163/SC 2. ISO 13790:2008 - **Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling. 2**, 2008.

o método de cálculo sazonal, considera cada edifício ou fração como uma única zona térmica e considera os fenômenos de transferência de calor em regime permanente integrados ao longo de cada estação.

Nesta avaliação o que se determina são as necessidades de energia para manter as condições de conforto definidas, (18°C no inverno e 25°C no verão) nos períodos em que elas não são atingidas de forma passiva. É a razão entre estas necessidades e as que a legislação define como padrão que determina a classe energética dos edifícios.

Estação de Aquecimento

Na estação de aquecimento, as necessidades de energia para aquecimento para manter a temperatura interior nos 18°C, calculam-se pela diferença entre as perdas (pela envolvente e renovação de ar) e os ganhos úteis.

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p \quad [kWh/(m^2.ano)]$$

Estação de Aquecimento: Perdas

As perdas pela envolvente resultam da transferência de calor por transmissão do interior para o exterior, ou espaços não úteis, pela envolvente, nomeadamente pelas paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas e lineares

Essa transferência, $Q_{tr,i}$, é calculada pela integração, no tempo de duração da estação, do somatório dos coeficientes de transferência de calor dos diversos elementos da envolvente, $H_{tr,i}$, nos períodos em que a temperatura exterior ao espaço útil é inferior à

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad [kWh/ano]$$

temperatura interior de conforto, 18°C, determinados através do número de graus dia, (GD), na base de 18°C.

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão, é o somatório dos coeficientes de transferência de cada elemento da envolvente.

Os coeficientes de transferência de cada elemento, são função do produto da dimensão do elemento, seja área ou desenvolvimento linear, pelo seu coeficiente de transmissão térmica.

Daqui se conclui que as perdas serão menores se os elementos tiverem menor dimensão (área ou comprimento), ou se o seu coeficiente de transmissão térmica for o menor.

As perdas por ventilação ocorrem também nos períodos em que a temperatura exterior é inferior à interior, determinada em função dos Graus-dias na base de 18° e do coeficiente de transferência de calor por ventilação

O coeficiente de transferência de calor por ventilação depende da taxa de renovação horária e do volume do espaço a ventilar.

A Portaria n.º 138-I/2021⁴⁸, impõe uma taxa de renovação, $R_{ph,i}$, mínima de 0,5 renovações por hora.

Uma vez que os Graus-dia são um dado fixo para o local, mantendo o volume, deverá haver todo o cuidado no projecto de ventilação de modo a limitar as perdas, mantendo a renovação de ar sem contribuir de forma significativa para o seu aumento.

Coeficiente global de transferência de calor:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \text{ [W/°C]}$$

Envolvente exterior:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \text{ [W/°C]}$$

Envolvente interior e edifícios adjacentes:

$$H_{ext}H_{ext} = \sum_h b_{ztu_h} \cdot (\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j]) \text{ [W/°C]}$$

Para o solo:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf,i} \cdot A_i] + \sum_j [Z_{solo,j} \cdot P_{solo,j} \cdot U_{bwj}] \text{ [W/°C]}$$

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \text{ [kWh/ano]}$$

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \text{ [W/°C]}$$

⁴⁸ Portaria n.º 138-I/2021. D.R. I Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>>

Estação de Aquecimento: Ganhos

Os ganhos térmicos úteis calculam-se aplicando aos ganhos brutos o fator de utilização de ganhos térmicos (η_i).

Este fator de utilização de ganhos térmicos, é determinado de forma empírica por se tratar de um cálculo sazonal e não dinâmico. Depende da relação entre os ganhos térmicos brutos e as transferências, (perdas,) de calor por transmissão e do parâmetro α , que introduz a influência da inércia térmica do edifício no sistema.

Os ganhos brutos são a soma dos ganhos internos com os ganhos provenientes do aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados.

Por uniformização, a regulamentação em vigor, considera para os ganhos internos, provenientes de fontes internas de calor, um valor de 4W/m^2 . Sendo por isso função da área de pavimento e da duração da estação de aquecimento o seu valor para cada edifício.

Os ganhos pelos vãos envidraçados, $Q_{sol,i}$, dependem da energia solar incidente, da orientação do vão, dos sombreamentos, da área efectiva, da fração envidraçada e do fator solar. São calculados pela soma ao longo da estação.

A área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado, $A_{s,i}$, representa a área envidraçada do vão, afetada do seu fator solar.

Os ganhos térmicos úteis:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad [\text{kWh/ano}]$$

Fator de utilização dos ganhos:

$$\text{a) Se } \gamma_i \neq 1 \text{ e } \gamma_i > 0, \text{ então: } \eta_i = \frac{1 - \gamma_i^{\alpha_{it}}}{1 - \gamma_i^{\alpha_{it} + 1}}$$

$$\text{b) Se } \gamma_i = 1, \text{ então: } \eta_i = \frac{\alpha_{it}}{\alpha_{it} + 1}$$

$$\text{c) Se } \gamma_i < 0, \text{ então: } \eta_i = \frac{1}{\gamma_i}$$

$$\gamma_i = Q_{g,i} / (Q_{tr,i} + Q_{ve,i})$$

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad [\text{kWh/ano}]$$

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad [\text{kWh/ano}]$$

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,ijnj} \cdot A_{s,ijnj} \right] \cdot M$$

[kWh/ano]

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [\text{m}^2]$$

Este fator solar é o da estação de inverno, que no caso de não existirem proteções fixas corresponde ao fator solar do vidro.

No capítulo 3 será desenvolvido mais detalhadamente o cálculo dos ganhos pelos vãos envidraçados.

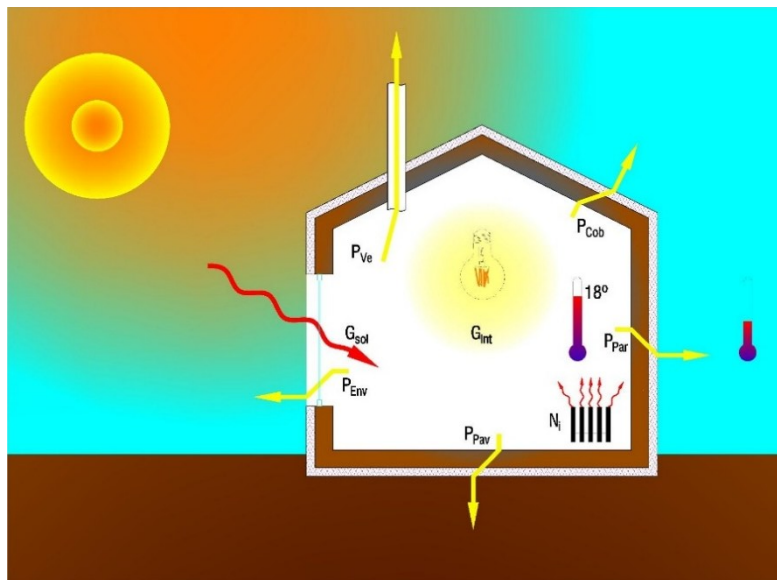


Figura 28- Balanço energético na estação de aquecimento. (esquema simplificado)

N_i - Necessidade de energia para aquecimento; P_{par} - Perdas pelas paredes; P_{pav} - perdas pelos pavimentos; P_{env} - Perdas pelos envidraçados; P_{cob} - Perdas pela cobertura; P_{ve} - Perdas pela renovação de ar. G_{sol} - Ganhos solares; G_{int} - Ganhos internos.

Balanço energético na estação de aquecimento:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p$$

Estação de Arrefecimento

Na estação de arrefecimento, a energia necessária para manter o conforto interior nos 25°C é calculada descontando dos ganhos térmicos brutos os ganhos utilizados nos períodos em que a temperatura é inferior aos 25°C e, por esse motivo, há transferência de calor do interior para o exterior, nomeadamente no período noturno.

Nesta estação, o desconforto advém dos ganhos e não das perdas energéticas.

Porque o cálculo é sazonal e não dinâmico, para ter em conta o efeito das massas térmicas, o cálculo feito recorrendo ao fator de utilização dos ganhos térmicos, que é determinado de forma empírica em

$$N_{vc} = (1 - \eta_v)Q_{g,v}/A_p \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

função da inércia térmica e da relação entre os ganhos térmicos brutos e a transferência de calor pela envolvente e ventilação.

Este fator, η_v , toma os seguintes valores dependendo da inércia térmica e da relação entre os ganhos térmicos brutos e a soma das transferências de calor por transmissão e por ventilação:

$$a) \text{ Se } \gamma_v \neq 1 \text{ e } \gamma_v > 0, \text{ então: } \eta_v = \frac{1 - \gamma_v^{a_{it}}}{1 - \gamma_v^{a_{it} + 1}}$$

$$b) \text{ Se } \gamma_v = 1, \text{ então: } \eta_v = \frac{a_{it}}{a_{it} + 1}$$

$$c) \text{ Se } \gamma_v < 0, \text{ então: } \eta_v = \frac{1}{\gamma_v}$$

$$\gamma_v = Q_{g,v} / (Q_{tr,v} + Q_{ve,v})$$

Estação de Arrefecimento: Perdas

Os edifícios perdem calor, mesmo durante a estação de arrefecimento, nos períodos em que a temperatura interior é superior à exterior, como acontece no período noturno. Isto considerando que que mantem as condições de conforto, isto é 25°.

As perdas ocorrem por transmissão pela envolvente e por ventilação.

A transferência de calor por transmissão, (perdas de calor), $Q_{tr,v}$, é resultante das somas dos coeficientes de transmissão dos elementos da envolvente e é obtida tendo em conta a diferença de temperatura interior com a temperatura média exterior da estação, durante a estação de arrefecimento.

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (\theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}) \cdot \frac{L_v}{1000} \text{ [kWh/ano]}$$

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão, é o somatório dos coeficientes de transferência de cada elemento da envolvente.

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad [W/^{\circ}C]$$

O cálculo do coeficiente de transmissão de calor de cada elemento da envolvente é calculado como na estação de aquecimento.

As perdas por ventilação também ocorrem e o coeficiente de transferência de calor por ventilação depende da taxa de renovação R_{ph} e do volume útil a ventilar.

$$H_{ve,v} = 0,34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d \quad [W(^{\circ}C)]$$

Estação de Arrefecimento: Ganhos

Os ganhos térmicos brutos resultam da soma dos ganhos internos, iluminação, equipamentos e ocupação humana, e dos ganhos solares pelos envidraçados e envolvente opaca, provenientes da radiação solar.

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [kWh/ano]$$

Os ganhos internos, $Q_{int,v}$, são a soma dos ganhos internos médios que por imposição regulamentar têm o valor de $4W/m^2$ ao longo da estação, sendo o número de horas da estação, L_v , também imposta de 2928h.

$$Q_{int,v} = q_{int} \cdot A_p \cdot \frac{L_v}{1000} \quad [kWh/ano]$$

Os ganhos solares brutos são determinados em função da energia solar média incidente na superfície, os sombreamentos, (ou obstruções), e a área coletora efetiva.

$$Q_{sol,v} = \sum_j G_{sol,j} \times \sum_n F_{s,v,n,j} \cdot A_{s,v,n,j} \quad [kWh/ano]$$

O factor de obstrução, F_{sv} , depende das obstruções, isto é, dos elementos que provocam sombreamento, como palas, outros edifícios ou obstáculos. Depende dos sombreamentos de horizonte, dos sombreamentos horizontais e verticais.

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_j$$

Quanto à área efectiva coletora, a determinação é distinta para os elementos opacos e envidraçados.

$$A_{s,v} = \alpha_{sol} \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad [m^2]$$

No caso dos elementos opacos esta área depende da sua área real, da absorptância solar, do coeficiente de transmissão térmica do elemento e da resistência térmica superficial.

Podemos concluir que ter um coeficiente de transmissão térmica baixo, permite não só diminuir as perdas na estação de aquecimento como reduzir os ganhos na estação de arrefecimento.

$$A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad [m^2]$$

Outro aspeto a ter em conta é a cor dos paramentos que influencia a absorção solar. Cores escuras maior, claras, menor.

No caso dos elementos envidraçados a área efetiva coletora depende da fração envidraçada e do fator solar.

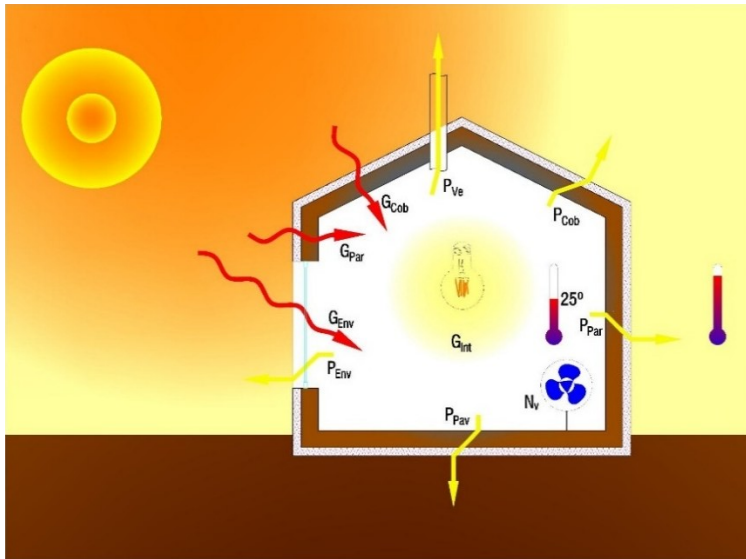


Figura 29- Balanço energético na estação de arrefecimento. (esquema simplificado)

N_v – Necessidade de energia para arrefecimento; P_{par} – Perdas pelas paredes; P_{pav} – perdas pelos pavimentos; P_{env} – Perdas pelos envidraçados; P_{cob} – Perdas pela cobertura; P_{ve} – Perdas pela renovação de ar. G_{env} – Ganhos solares pelos envidraçados; G_{par} – Ganhos solares pelas paredes; G_{cob} – Ganhos solares pela cobertura; G_{int} – Ganhos internos.

Balanço energético na estação de arrefecimento:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) Q_{g,v} / A_p$$

A fachada e o seu contributo

Parede

As paredes de fachada são avaliadas pela sua capacidade de limitar perdas térmicas e contribuir para a inércia do edifício.

- Transmitância térmica (U_p):
- Inércia térmica: paredes pesadas estabilizam a temperatura interior.
- Pontes térmicas: contabilizadas explicitamente.
- Isolamento térmico: posição (interior, exterior, caixa de ar) influencia desempenho.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

- Acabamentos: cor e absorvância solar afetam ganhos térmicos.

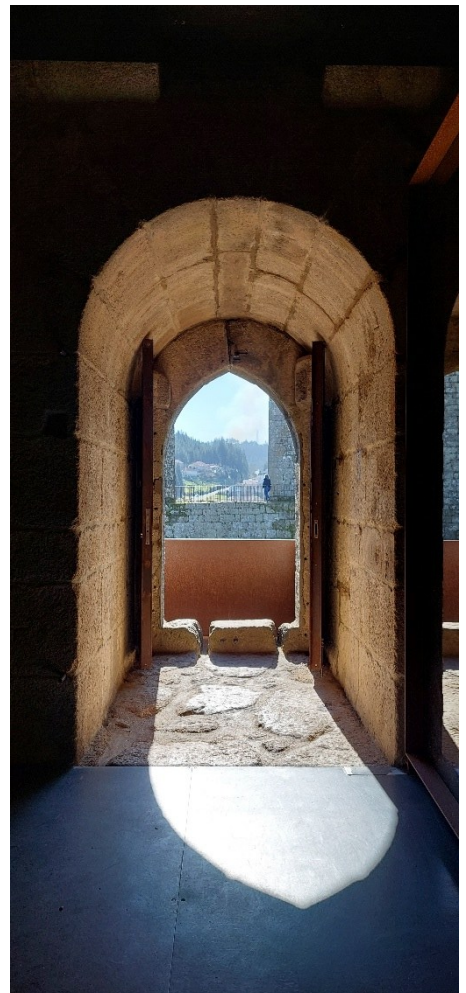
Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são avaliados em múltiplas dimensões:

- Transmitância térmica (U_w):
- Fator solar (g): mede a fração da radiação solar transmitida.
- Transmitância luminosa (τ_v): percentagem de luz visível transmitida.
- Orientação e sombreamento: cálculo inclui ângulos solares, obstruções e dispositivos de sombreamento.
- Estanquidade ao ar: avaliada segundo classes de permeabilidade (EN 12207).
- Área envidraçada: limitada para evitar sobreaquecimento ou perdas excessivas.

$$U_{janela} = \frac{A_{vidro} \cdot U_{vidro} + A_{caixilho} \cdot \psi}{A_{total}} + \psi \cdot L$$

O cálculo dos vãos envidraçados e paredes de fachada integra-se no balanço energético global do edifício.



Massa e Transparência

Figura 30 - Montalegre

3 MASSA E TRANSPARÊNCIA

Com o aparecimento e utilização do vidro na construção, melhorado com a industrialização na fabricação das caixilharias, as construções deixaram de possuir apenas uma barreira física e opaca pontuada por aberturas.

A partir do século XX, o vidro deixou de ser apenas material de visão para se tornar dispositivo climático.

As aberturas que ou permaneciam sempre abertas, sem qualquer tapamento, ou eram obstruídas com elementos também eles opacos, passaram a constituir uma barreira, mas sem deixar de exercer as suas funções como de iluminação, arejamento ou até de vigilância, podendo em alguns casos configurar-se como transição contínua entre exterior e interior.

Andrea Deplazes observa que a passagem da parede portante para a fachada leve representou uma mudança estrutural e conceptual: a parede já não é apenas suporte, mas um sistema de camadas com funções diferenciadas⁴⁹.

Atualmente as construções dispõem de elementos opacos e elementos envidraçados que se distribuem no seu contorno exterior em função das necessidades, funcionalidades e critérios subjetivos quer de promotores/proprietários quer dos *designers*, principalmente o arquiteto.

⁴⁹ DEPLAZES, Andreas- **Constructing Architecture: Materials, Processes Structures**. Birkäuser, 2005, p.18

A sua evolução tecnológica transformou a fachada, de barreira passiva em sistema ativo de regulação climática. Os vãos envidraçados, enquanto elementos de transparência, são centrais nesta transformação, permitindo luz, ventilação e ganhos solares, mas também exigindo estratégias de controlo térmico.

Simos Yannas reforça esta visão de fachada como um mediador climático⁵⁰, devendo articular-se com estratégias de ventilação natural e iluminação diurna.

No contexto do desempenho energético e conforto interior, são estes dois elementos que compõem a fachada que desempenham o principal papel. Os opacos, a massa, como principal barreira às perdas energéticas e os envidraçados como principal propiciador de ganhos solares.

3.1 **A Massa – Parede de Fachada**

Da envolvente opaca, as duas componentes que mais influência têm na eficiência energética dos edifícios são a fachada e a cobertura. Ambas pelas suas dimensões e características, quer de composição como de localização e exposição aos elementos são responsáveis pela maior porção das trocas energéticas com ao ambiente.

Neste ponto abordaremos a parte opaca das fachadas.

⁵⁰ YANNAS, Simos - **Solar energy and housing design**. Londres: Architectural Association Publications, 1994, p. 273.

A fachada ao longo do tempo

Começando pelas folhas e peles de animais a parede de fachada começou a ganhar forma com o desenvolvimento da tecnologia de construção em alvenaria (Adobe, tijolo ou pedra natural), e de elementos construtivos como o arco e a abóbada.⁵¹. Este tipo de construção se foi mantendo por toda a antiguidade e idade média.

Da idade média até à revolução industrial com o aprofundamento da técnica a fachada foi aligeirando, tendo-se aligeirado ainda mais com a revolução industrial e principalmente com a industrialização da produção do tijolo.

Em Portugal o aligeiramento, antes da generalização do uso do betão, deu-se com sistemas mistos de pedra e madeira ou paredes de tabique. Com a implementação da estrutura de betão, deu-se quase por completo o abandono dos antigos sistemas construtivos. As tecnologias construtivas já não estão ligadas às condições locais de recursos e ambiente.

Com utilização de estruturas de betão armado do tipo porticado, as paredes exteriores passaram a ter apenas a função de pano de preenchimento entre a estrutura e tornaram-se ainda mais leves.

Ao longo do sec. XX as paredes exteriores foram evoluindo tornando-se cada vez mais ligeiras com a utilização de tijolo vazado na substituição da pedra

⁵¹ SOUSA, Hipólito [et al.] - **Fachadas de Edifícios**. Porto: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2016.

e tijolo maciço e mais tarde ainda com a utilização de materiais de isolamento térmico.⁵²

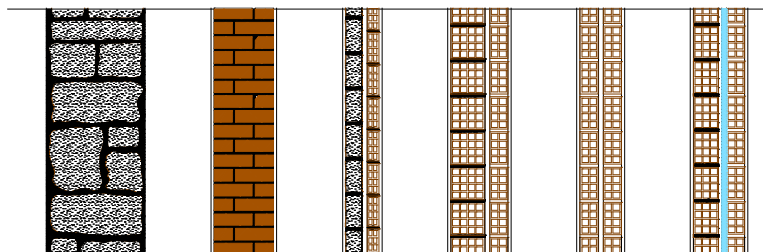


Figura 31 - A evolução do sistema construtivo de paredes entre as décadas.... fazer desenho – Adaptado de (Sousa, et al. 2016)

Atualmente as soluções construtivas são muitas, todas elas desenraizadas com tendência a serem cada vez mais leves.

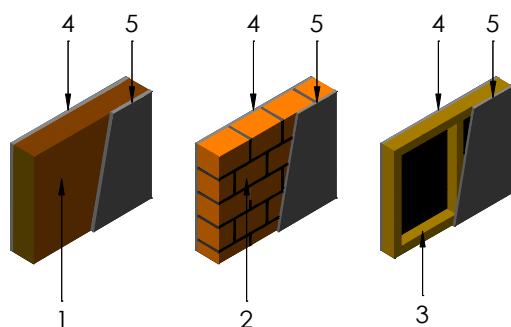
Caracterização da parede de fachada

Das diversas caracterizações⁵³ que podem ser feitas da fachada destacam-se as seguintes que se relacionam mais diretamente com o objeto de estudo, homogeneidade, massa, composição, revestimento, sistema de isolamento térmico.

Quanto à homogeneidade as paredes ser constituídas no seu constituinte base, sem o revestimento, como homogêneas se constituídas por um só material ou heterogêneas pela composição de vários elementos.

⁵² SOUSA, Hipólito [et al.] - **Fachadas de Edifícios**. Porto: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2016.

⁵³ *idem*

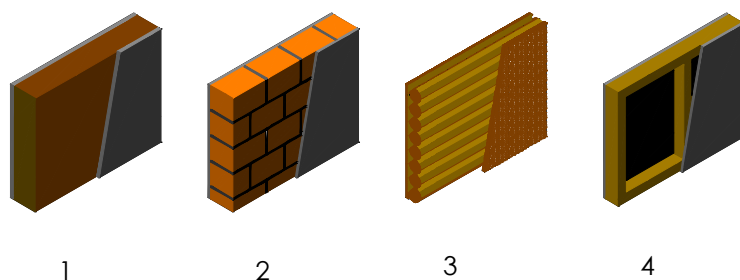


1. Tosco de parede homogénea
2. Tosco de parede de heterogénea de alvenaria
3. Estrutura leve de parede heterogénea
4. Revestimento interior
5. Revestimento exterior

Figura 32 - Homogeneidade das paredes. Adaptado de (Sousa, et al. 2016)

Relativamente à massa, parâmetro importante na construção passiva, as paredes de fachada são caracterizadas como fachadas leves ou pesadas.

As paredes leves possuem massa muito reduzida, normalmente abaixo de 100kg/m^2 , utilizando geralmente na sua execução elementos pré-fabricados e revestimentos de espessura reduzida.⁵⁴

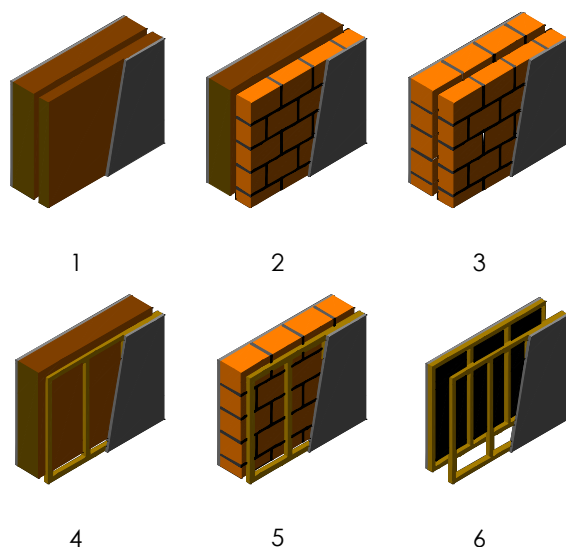


1. Parede homogénea pesada (Taipa, betão armado, ...)
2. Parede heterogénea pesada (Adobe, alvenaria de pedra, Tijolo cerâmico, bloco de betão, ...)
3. Parede homogénea leve (troncos de madeira)
4. Parede heterogénea leve, (estrutura de madeira, metálica,)

Figura 33 - As paredes quanto à massa. Adaptado de (Sousa, et al. 2016)

Relativamente à composição as paredes podem ser de pano simples ou múltiplo, neste caso os panos podem ser ou não de materiais da mesma natureza.

⁵⁴ SOUSA, Hipólito [et al.] - **Fachadas de Edifícios**. Porto: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2016.



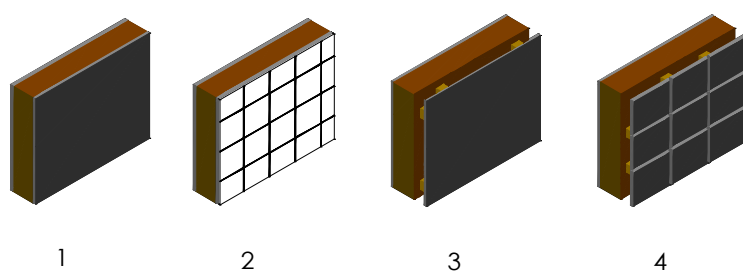
1. Paredes duplas pesadas, dois painéis homogêneos
2. Paredes duplas pesadas, um painel homogêneo e outro heterogêneo
3. Paredes duplas pesadas, dois painéis heterogêneos
4. Paredes semipesadas com um painel pesado homogêneo e um painel heterogêneo leve
5. Paredes semipesadas com um painel pesado heterogêneo e um painel heterogêneo leve
6. Paredes duplas leves, dois painéis heterogêneos

Figura 34 - Composição de paredes. Adaptado de (Sousa, et al. 2016)

As paredes duplas pesadas tem bom comportamento como elementos acumuladores de calor. As semipesadas, com o painel leve para o interior e as paredes leves, tem mau comportamento como acumulador de calor.

O revestimento além de ser elemento de acabamento e decoração desempenha funções importantes da parede nomeadamente, estanquidade e impermeabilização, podendo ainda em determinadas soluções construtivas estar associado ao isolamento térmico.

Podem ser contínuos ou descontínuos e podendo ser aderidos ou aplicados com estrutura de suporte, criando neste caso uma caixa de ar entre este e o painel de parede.



1. Revestimento contínuo aderido
2. Revestimento descontínuo aderido
3. Revestimento contínuo com caixa de ar não ventilada
4. Revestimento descontínuo com caixa de ar ventilada

Figura 35 - Tipo de revestimento exterior das paredes de fachada. Adaptado de (Sousa, et al. 2016)

O revestimento exterior da fachada influencia o comportamento térmico da fachada. A absorbância é condicionada pela cor. Cores escuras absorvem mais a radiação solar contribuindo para aumentar os ganhos, (indesejáveis), no verão. Cores claras absorvem menos. As fachadas ventiladas apresentam uma vantagem em climas quentes porque reduzem a absortância solar entre de 75 a 90%.

A caracterização relativamente ao isolamento térmico é feita atendendo à localização do mesmo relativamente à parede. Podemos ter isolamento interior, exterior ou no interior da solução construtiva como é o caso do isolamento na caixa de ar de paredes duplas.

As soluções de isolamento interior normalmente são em soluções com revestimento leve sobre o isolante. Soluções de isolamento exterior podem integrar o revestimento exterior ou protegido por revestimento de fachada ventilada.

Absortância Solar (α_{sol})

COR DA SUPERFÍCIE	α_{sol}
Cor claras: branco, creme, amarelo, laranja e vermelho-claro.	0,4
Cor médias: vermelho-escuro, verde-claro, azul-claro e cinzento-claro.	0,5
Cor escuras: castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro e cinzento-escuro.	0,8

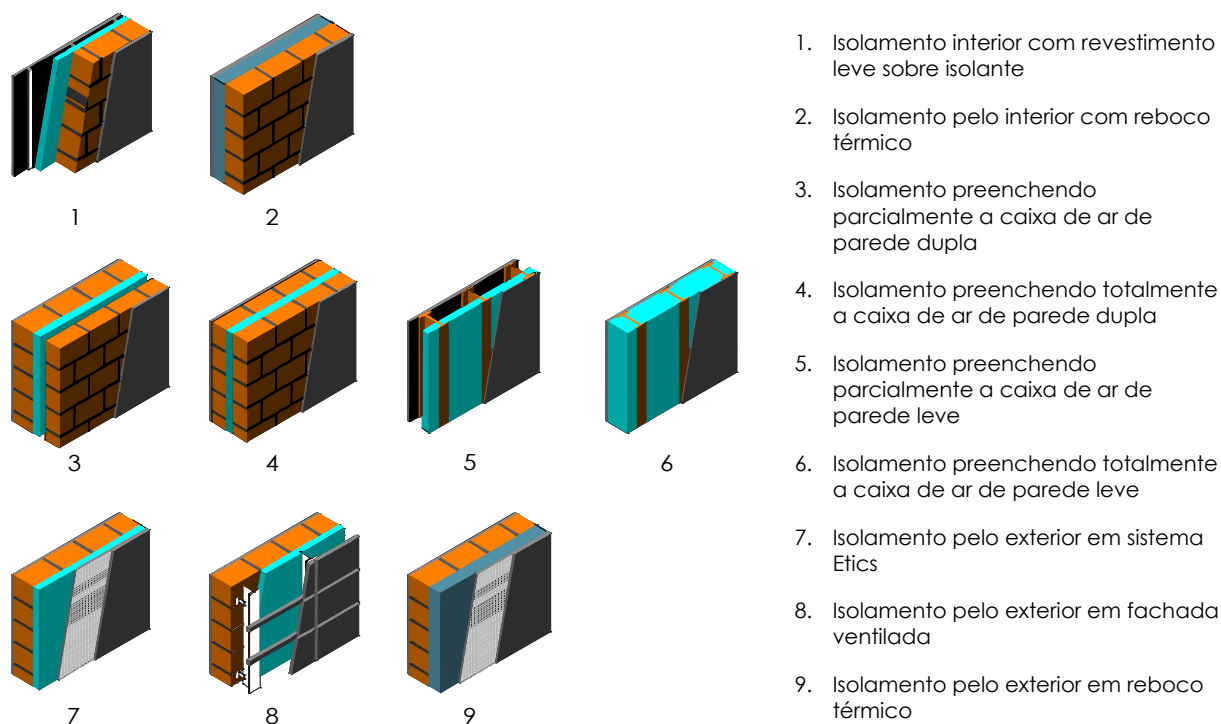


Figura 36 - Principais sistemas de isolamento de paredes de fachada

Parede de fachada e conforto térmico

A parede de fachada intervém no conforto térmico dos edifícios como barreira às perdas de calor nos períodos em que a temperatura exterior é inferior à temperatura de conforto interior. E como obstáculo à entrada da radiação solar nos dias de calor. Contribui ainda para a massa térmica do edifício.

A principal característica da parede de fachada que temos que controlar é a transmissão térmica.

A quantidade de calor perdido por transferência (H), por cada °C de diferença de temperatura é diretamente proporcional à área e ao coeficiente de transmissão térmica da parede.

$$H = A \times U \text{ [W/°C]}$$

Para minimizar as perdas, uma vez estabelecidas das dimensões da parede só conseguimos reduzir as

perdas por transmissão reduzindo o coeficiente de transmissão térmica.

O coeficiente de transmissão térmica é inversamente proporcional à resistência térmica da parede. Quanto maior for a resistência térmica menor será este e menor serão as perdas.

A resistência térmica é facilmente determinada por ser função de característica dos materiais, a condutividade térmica (λ), e da sua dimensão, a espessura.

Como uma parede não é composta apenas por um material, a resistência total da parede é a soma de todas as resistências, incluindo a resistência superficial da zona de contacto entre o ar e a parede e ainda de eventual caixa de ar, (desde que não fortemente ventilada).

Para efeitos de limitação das perdas verificamos que a composição e a ordem das diversas camadas que compõem a parede é indiferente, podemos ter a mesma resistência térmica independentemente da ordem de cada camada. A disposição só terá influência como se verá mais adiante para efeitos de obtenção de massa acumuladora de calor.

Podemos, então, obter a mesma resistência com soluções tão distintas, como uma parede dupla com isolamento na caixa de ar ou uma parede simples isolada com o sistema Etics, uma vez que a depende apenas da condutividade e espessura de cada camada.

Para efeitos de minimização dos ganhos solares por condução através das paredes, não dependemos apenas da resistência térmica da parede.

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

Em que:

U – Coeficiente de transmissão térmica

$$\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right];$$

R_{tot} – Resistência térmica total $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$.

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j}$$

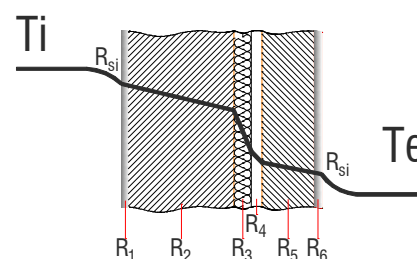
Em que:

R_j – Resistência térmica da camada j $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$;

d_j – Espessura da camada j [m];

λ_j – Condutibilidade térmica da camada

$$j \left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right].$$



$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_{se}$$

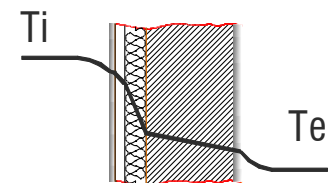
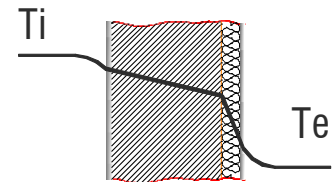
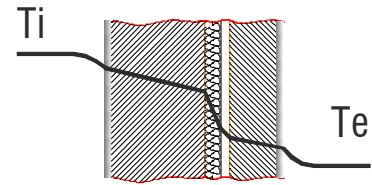
Neste caso intervêm mais fatores, inclusive alguns que não conseguimos controlar, como o sombreamento por obstáculos fora do limite da nossa intervenção, sabendo ainda que a localização vai determinar a radiação solar incidente, outro fator que não podemos controlar.

Os ganhos solares por condução através da fachada são controlados por fatores externos à parede, nomeadamente obstruções que provocam sombreamento. E por fatores da própria paredes, a resistência térmica, absorptância solar, α_{sol} , (ligado à cor do revestimento exterior),

Para além dos sombreamentos que podemos incluir na solução arquitectónica, poderemos controlar os ganhos, pela cor da fachada, e pela espessura do isolamento que fará aumentar a resistência térmica.

A absorptância solar é maior em cores escuras e menor em revestimentos de cores claras. Deste modo quanto mais escuro for a cor do revestimento do paramento maior quantidade de calor vai ser absorvido e transmitido para o interior do edifício.

Verificamos, portanto, que a estratégia passiva de isolar a envolvente é eficaz tanto no verão e no inverno.



$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[G_{sol,j} \times \sum_n F_{s,v,nj} \cdot A_{s,v,nj} \right] [kWh/ano]$$

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$$

$$A_{s,v} = \alpha_{sol} \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad [m^2]$$

3.2 A transparência – O vão envidraçado

O vão envidraçado, assume um duplo papel no desempenho energético dos edifícios. Se por um lado proporciona a obtenção de ganhos solares, por outro, devido à sua estrutura e composição, é um dos elementos da envolvente com maior transmissão térmica.

O seu desempenho energético depende não só da caixilharia que o encerra, mas também de outros componentes, como a proteção solar ou elementos arquitectónicos que o complementam como palas de sombreamento.

Composição e tipologia

As janelas, ou portas envidraçadas, são, essencialmente, constituídas por duas partes, o caixilho, elemento que fixa ao vão e permite a abertura, se for o caso, e o vidro que permite a transparência para o exterior, a entrada da luz e da radiação solar.

Quanto ao sistema de abertura são caracterizadas em três grandes grupos, Fixas, de Correr e de Batente, com variações e combinações entre os diversos grupos⁵⁵.

Caixilho

Os materiais correntemente mais utilizados nos caixilhos são a madeira, o alumínio, com e sem corte térmico, e o PVC, existindo ainda caixilhos mistos entre estes materiais⁵⁶.

Cada um destes materiais vai conferir um coeficiente de transmissão térmica diferente à janela, sendo que a

⁵⁵ PINHO, Vitor. - **Caracterização Térmica de Vãos Envidraçados e Respectivas Protecções Solares**. Universidade do Porto, FEUP, Repositório Aberto UP, 2013. Master Thesis.

⁵⁶ SANTOS, Carlos; MATIAS, Luís. - **Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. Lisboa: LNEC, 2007.

madeira e o PVC possuem melhor comportamento térmico que o alumínio⁵⁷.

Vidro

O vidro é a componente que desempenha o papel mais importante numa janela. Quer pela sua função primária de transparência e iluminação, quer no desempenho energético do vão.

No anexo 4 (Tabela 6), encontramos as características do vidro, mas de entre todas destacamos duas que são as que tem influência na avaliação do desempenho energético dos edifícios. O coeficiente de transmissão térmica e o fator solar.

Proteções solares

As proteções solares são dispositivos colocados no vão que entre outras funções tem a de reduzir a entrada da radiação solar. No anexo apresenta-se listagem de tipos protecções solar⁵⁸.

Podem ser interiores ou exteriores e dependendo das suas características poderão ainda conferir uma resistência térmica adicional ao vão envidraçado.

Sombreamentos

Os sombreamentos são elementos arquitectónicos que embora não façam parte do vão se destinam a fazer sombra no mesmo, de modo a reduzir a entrada de radiação solar sem prejudicar a entrada da luz.

Estes elementos podem ser fixos ou moveis⁵⁹ e não alteram a transmissão térmica do vão. Se não forem corretamente

⁵⁷ SANTOS, Carlos.; MATIAS, Luís. - **Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. Lisboa: LNEC, 2007.

⁵⁸ Adene - **Guia SCE**. Lisboa: Adene, 2020.

⁵⁹ PINHO, Vítor. - **Caracterização Térmica de Vãos Envidraçados e Respectivas Protecções Solares**. Universidade do Porto, FEUP, Repositório Aberto UP, 2013. Master Thesis.

dimensionados, podem prejudicar a captação da radiação solar no inverno e assim diminuir os ganhos solares, ou não protegerem completamente o vão no verão.

Vão envidraçado e conforto térmico

O vão envidraçado influencia a eficiência energética do edifício tanto na estação de aquecimento como de arrefecimento.

As suas características que podemos regular para obter melhor eficiência são o coeficiente de transmissão térmica e o fator solar.

Transmissão térmica

O coeficiente de transmissão térmica, que mede a quantidade de calor que atravessa a área da janela por cada grau de diferença de temperatura entre as suas faces, depende do tipo/material do caixilho e do tipo de vidro. É determinado por média ponderada na área dos coeficientes de transmissão térmica do caixilho e do vidro a que se soma a ponte térmica da ligação entre eles, conforme especificado no Manual SCE⁶⁰.

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot Y_g + \sum l_{gb} \cdot Y_{gb}}{A_w}$$

[W/(m².°C)]

Para a mesma área de vão, quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica de cada elemento menor será o da janela. A existência de quadriculas no envidraçado, faz aumentar o coeficiente de transmissão térmica da janela. Considerando que o vidro tem atualmente coeficiente de transmissão térmica melhor do que o

⁶⁰ Direção-Geral de Energia e Geologia. - **Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios**. Despacho n.º 6476-H/2021 (Diário da República), 07, 2021

caixilho, quanto menor for a área relativa do caixilho, menor será o coeficiente de transmissão térmica da Janela

No caso da existência de protecção solar que forme um espaço de ar entre esta e a caixilharia, o coeficiente de transmissão térmica da janela será acrescido de uma resistência adicional. No anexo apresenta-se tabela com os acréscimos de resistência térmica pela existência de protecção solar.

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

A utilização de protecção solar pode contribuir para diminuir as perdas por transmissão ao diminuir o coeficiente de transmissão térmica da janela.

Para efeitos de avaliação de desempenho, uma vez que a protecção não estará sempre ativada é considerado um valor médio, designado por coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite, (U_{wdn})⁶¹.

$$U_{wdn} = \frac{U_w + U_{ws}}{2} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

Fator solar

O fator solar é a relação entre o ganho de calor através do vidro e radiação solar incidente nele⁶². É uma característica do vidro.

Da radiação incidente no vidro, I , parte é refletida imediatamente para o exterior, $\rho_s I$, parte é absorvida pelo vidro, $\alpha_s I$, e outra é transmitida instantaneamente para o interior, $\tau_s I$. A parte absorvida será transmitida em diferido, por

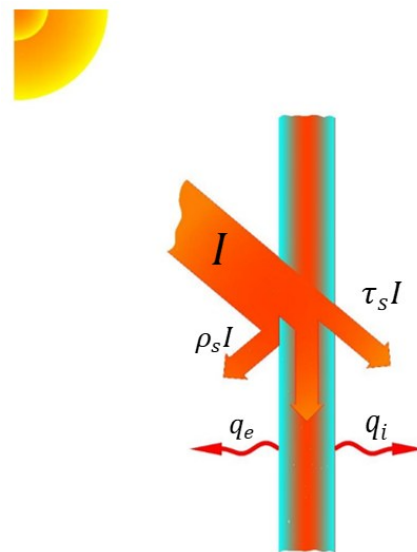
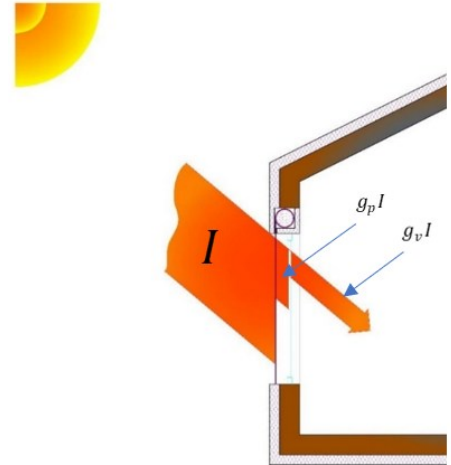


Figura 37 - Radiação solar e envidraçado

⁶¹ Direção-Geral de Energia e Geologia. - **Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios**. Despacho n.º 6476-H/2021 (Diário da República), 07, 2021

⁶² RODRIGUES, António Moret; PIEDADE, António Canha.; BRAGA, Ana Marta- **Térmica de Edifícios**. Amadora: Orion, 2009.

convecção e radiação, parte para o interior, q_i e parte para o exterior, q_e .⁶³



Com a colocação de uma proteção solar no vão envidraçado adicionamos um dispositivo de controlo do fator solar. Com a proteção solar, da radiação incidente no vidro, I , só parte atravessa a proteção, $g_p I$, e dessa apenas parte, $g_v I$, atravessa o vidro.⁶⁴

Figura 38 - A influência da proteção no fator solar do vão envidraçado.

Ganhos pelos envidraçados na Estação de aquecimento

Como visto no anteriormente, os ganhos energéticos pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, dependem do fator solar, g_i , que para efeitos de cálculo se inclui na determinação da área efetiva coletora. Para maximizar os ganhos as proteções solares móveis não devem estar ativas.

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [m^2]$$

O fator solar de inverno, g_i , é afetado pelas proteções permanentes no caso de existirem, e/ou pelo fator de seletividade angular.

$$g_i = g_{tot,p}$$

Como para se aquecer o edifício de forma passiva é necessário obter ganhos solares, para os maximizar é forçoso que o fator solar do vidro seja o maior possível.

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} = 0,90 \times g_{\perp,vi}$$

Quanto maior for o fator solar, maiores os ganhos brutos na estação de aquecimento. Vidros com fator

⁶³ RODRIGUES, António Moret; PIEDADE, António Canha.; BRAGA, Ana Marta- **Térmica de Edifícios**. Amadora: Orion, 2009

⁶⁴ idem.

solar maior são melhores para obtenção de ganhos solares

Ganhos pelos envidraçados na Estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento, os ganhos brutos pelos envidraçados também dependem do fator solar.

$$A_{s,v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad [m^2]$$

$$g_v = F_{mv} \cdot g_{tot} + (1 - F_{mv}) \cdot g_{tot,p}$$

No entanto o fator solar de verão, g_v , entra em conta com a existência de proteções solares, que, para minimizar os ganhos brutos deverão estar ativas.

Apenas dispositivos de proteção solar permanentes:

$$g_v = g_{tot,p}$$

A determinação do fator solar de depende da existência de proteções e no caso de existirem da fracção de tempo que previsivelmente estarão ativas⁶⁵. Tomando diferentes valores atendendo à existência ou não se proteções.

Dispositivos de proteção solar permanentes e móveis:

$$g_v = F_{mv} \cdot g_{tot} + (1 - F_{mv}) \cdot g_{tot,p}$$

Apenas de dispositivos de proteção solar móveis:

$$g_v = F_{mv} \cdot g_{tot} + (1 - F_{mv}) \cdot F_{w,v} \cdot g_{\perp,vi}$$

Ausência de dispositivos de proteção solar:

$$g_v = F_{w,v} \cdot g_{\perp,vi}$$

Como no verão devemos diminuir os ganhos solares, o fator solar deverá ser o menor possível. Só conseguimos maximizar os ganhos no inverno e minimizar no verão se introduzirmos protecção solar que quando ativa no verão diminua o fator solar do vidro que queremos alto no inverno

Em anexo apresentam-se os valores característicos do fator solar de vãos envidraçados com diversos tipos de proteção solar.

⁶⁵ Direção-Geral de Energia e Geologia. - **Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios**. Despacho n.º 6476-H/2021 (Diário da República), 07, 2021

Perda pelos envidraçados

As perdas por transmissão pelos envidraçados ocorrem tanto no inverno, como no verão, sendo mais críticas no inverno que é o período em que precisamos de reter os ganhos.

Ocorrem por transmissão e dependem apenas da área do vão e do seu coeficiente de transmissão térmica.

Estação de aquecimento

Na estação de aquecimento, as perdas pelos envidraçados são função do seu coeficiente de transmissão térmica e da sua área.

Otimizando a área para os ganhos, para as minimizar as perdas, precisamos de ter o coeficiente de transmissão térmica menor possível, isso depende da escolha do material de caixilharia, da das características do vidro e da existência ou não de proteção solar.

Estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento, continua a haver transmissão pelos envidraçados, nos períodos em que a temperatura interior é superior à exterior, nomeadamente no período noturno.

Estas perdas contribuem para o arrefecimento, de modo que, como medida de aumentar a transmissão, as proteções devem estar desativadas.

3.3 A massa e a transparência – O equilíbrio

Os elementos básicos de qualquer sistema passivo destinado essencialmente a aquecimento são, os envidraçados no quadrante sul, para captação da radiação solar, e massa térmica, (inércia), para absorção, armazenamento e distribuição de calor.⁶⁶

Inércia térmica

A inércia térmica desempenha um papel importante na conceção de edifícios passivos. É necessária para o eficaz aproveitamento dos ganhos solares, além de regularizar a temperatura interior ao desfazar o aumento ou a diminuição da temperatura interior da variação da temperatura exterior.

O armazenamento de calor em elementos construtivos, permite estabilizar a temperatura interior de edifícios ao absorver calor durante o dia e libertá-lo à noite, reduzindo as necessidades energéticas para aquecimento.

A massa térmica interior, absorve a radiação solar que entra por envidraçados, retardando a subida da temperatura do ar e reduzindo a carga térmica no verão.

Como o armazenamento de calor se dá por condução entre camadas sucessivas do elemento construtivo, o armazenamento é mais rápido nos elementos onde existe gradiente térmico, isto é onde a temperatura de cada uma das faces do elemento é diferente. É o caso das paredes exteriores de

⁶⁶ GONÇALVES, H. ; GRAÇA, J.M. - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

fachada, no entanto a acumulação será menor porque o elemento ficará a temperaturas diferentes. Nos elementos interiores como divisórias e pavimentos interiores em que a temperatura é, grosso modo igual, a acumulação é mais lenta, conseguindo no entanto maior armazenamento porque o elemento ficará todo à mesma temperatura.⁶⁷

A energia total armazenada por uma parede será:

$$\Phi = C_{\text{parede}} \Delta \theta_{\text{parede}}$$

A capacidade de armazenar calor depende da massa, do calor específico e condutibilidade térmica dos materiais.

Sendo C a massa térmica, característica da parede que depende da sua massa (m) e do calor específico (c_p)

$$C = mc_p \quad (\text{Wh}/^{\circ}\text{C})$$

O calor específico e a massa são características dos materiais. Daqui se depreende que quanto maior a massa e/ou quanto maior o calor específico, maior a capacidade da parede para o armazenamento de calor. Em anexo apresenta-se quadro com os valores do calor específico de diversos materiais.

É por isso importante que a face interior das paredes possua massa e essa massa esteja em contacto com o ambiente interior quente. A parede é mais eficaz quando o isolamento térmico é aplicado no exterior da construção. O isolamento colocado no exterior permite que a massa interna interaja com o ambiente interior, maximizando a inércia térmica; O isolamento interior reduz essa interação e a capacidade de armazenamento.

Edifícios com alta inércia térmica aproveitam melhor os ganhos de calor e mantêm condições interiores mais estáveis, sendo mais eficientes em regimes de

⁶⁷ RODRIGUES, António Moret; PIEDADE, António Canha.; BRAGA, Ana Marta- **Térmica de Edifícios**. Amadora: Orion, 2009.

ocupação contínua porque a temperatura durante o período frio desce menos e a massa térmica perde menos do calor acumulado.

A quantificação da inércia térmica pode ser feita por diversos métodos, como o método de Bruckmayer, das soluções periódicas, ou modelos simplificados como os da Norma EN ISO 13786.⁶⁸

A norma em vigor para a avaliação do desempenho energético, incorpora a inércia térmica no método de cálculo de modo indireto, sendo necessário avaliar a massa interior dos edifícios.

Os edifícios são classificados em três níveis de inércia, fraca, média ou forte. Em função desta classificação é quantificado o aproveitamento dos ganhos solares para a avaliação do desempenho energético.

O melhor aproveitamento é feito pelos edifícios com inércia forte.

O método de quantificação da inércia está descrito no Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho⁶⁹.

No caso das paredes de fachada, a quantificação é feita considerando a massa dos elementos do interior para o exterior até à caixa de ar ou isolamento térmico, (até ao limite de 300kg/m²). Tem de se ter em consideração a resistência térmica dos revestimentos superficiais. Como visto anteriormente, o armazenamento de calor depende da condução de calor entre camadas sucessivas do elemento

⁶⁸ RODRIGUES, António Moret; PIEDADE, António Canha.; BRAGA, Ana Marta- **Térmica de Edifícios**. Amadora: Orion, 2009.

⁶⁹ Despacho n.º6476-H/2021. D.R. II Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/6476-h-2021-166300890>>

construtivo. Se a resistência for alta, a condução será baixa e não haverá acumulação de calor.

A massa e a transparência

De acordo com o já explanado, há soluções construtivas que apresentam melhores resultados quando adotadas para o melhor aproveitamento da energia solar.

No caso das paredes um dos princípios a adotar é um eficaz isolamento térmico. Este está garantido pela adoção do coeficiente de transmissão térmica igual ou inferior ao regulamentar para cada zona climática.

O quadro apresenta o coeficiente de transmissão térmico máximo para as paredes de fachada dos edifícios a construir no continente de acordo com a zona climática. Este valor é o máximo, mas podemos isolar mais para obter valores de coeficientes de transmissão térmica menores. Este aumento de isolamento vai depender de uma análise de custo uma vez que ao aumento da espessura do isolamento não corresponde de forma linear uma diminuição do coeficiente de transmissão térmica.

O coeficiente de transmissão térmica depende essencialmente da espessura do isolamento não dependendo da sua posição na parede. Podemos ter paredes com o mesmo coeficiente em soluções de isolamento interior, na caixa de ar ou pelo exterior.

Mas a posição do isolamento influencia outro fator importante para o aproveitamento da energia solar, a inércia térmica. Soluções com isolamento interior ou na caixa de ar tem pior desempenho que

Tabela 2 - Coeficiente de transmissão máximo admissível para paredes de fachada (Portugal Continental), $U_{máx}$ [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]: Portaria n.º 138-I/2021, D.R. I Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>

I1	I2	I3
0,50	0,40	0,35

soluções com isolamento pelo exterior porque a massa térmica que conseguem disponibilizar é inferior.

O caso particular da parede ventilada, apresenta uma vantagem efetiva nas localizações em que o período quente de temperaturas elevadas ao reduzir a absorção da radiação solar.

Tabela 3 - Coeficiente de transmissão máximo admissível para envidraçados de habitação (Portugal Continental), U_{max} [W/(m².°C)]: Portaria n.º 138-I/2021. D.R. I Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>>

I1	I2	I3
2,80	2,40	2,20

No caso dos vãos envidraçados os fatores determinantes para a eficiência são a área, a transmissão térmica, que mesmo cumprindo os requisitos regulamentares apresenta valores 4 vezes superiores às paredes, e o fator solar.

A calibração da área é importante, porque se for baixa, os ganhos solares no inverno serão baixos, se muito alta poderemos sofrer de sobreaquecimento no verão.

O fator solar do vidro é que obriga a pensar bem a solução a adotar. Por um lado, queremos que ele seja alto para maximizar os ganhos solares no período frio, mas por outro lado, queremos que seja baixo no período quente para minimização dos ganhos, existindo mesmo uma imposição regulamentar. É nesta dualidade que temos de decidir.

A solução para fachadas extremamente envidraçadas, em que não existem sistemas de sombreamento ou proteção, será a adoção de um vidro com fator solar muito baixo. Esta situação pode resolver o problema no verão, mas vai fazer diminuir os ganhos solares, no inverno.

Áreas elevadas de envidraçado também fazem aumentar as perdas por transmissão por as mesmas são proporcionais à área.

Fachadas com envidraçados de áreas mais equilibradas que permitem a adoção de soluções de proteção solar móveis são mais eficientes. A protecção móvel permite a redução do fator solar no período quente, podendo ser adoptado um vidro de fator solar mais elevado que permite maximizar os ganhos solares no período mais frio. A proteção solar reduz ainda a transmissão térmica do vão. A desvantagem da proteção solar móvel é a necessidade de intervenção humana que pode ser substituída pela adoção de sistema técnico mais ou menos autónomo.

Agregando a massa e a transparência temos a inércia térmica que potencia a utilização dos ganhos solares que entram através dos envidraçados utilizando a massa da parede como acumulador de calor, que ao estar devidamente isolada vai libertar o calor armazenado para o interior, obtendo-se assim ambientes internos mais confortáveis com temperaturas sem grandes amplitudes térmicas, diminuindo os tempos em que será necessário recorrer a sistemas técnicos.



Caso de Estudo

Figura 39 - Casa Eduardo Maldonado, Fernanda Seixas, 1989

4 CASO DE ESTUDO

O caso de estudo trabalhado é um dos exemplos de referência na área das construções passivas, tendo sido objeto de apresentação em publicações como *Edifícios Solares Passivos em Portugal*⁷⁰, onde é um dos dois casos estudados da Arquiteta Fernanda Seixas⁷¹. Foi selecionado pela sua particularidade de surgir na mesma altura em que surgia a primeira regulamentação técnica sobre conforto térmico, o RCCTE, por já ter sido alvo de referência e pelo facto de ter sido construído para o Eng.º Eduardo Maldonado, uma referência na área.



Figura 40 - Caso de estudo. (Foto do autor)

Também pesou na escolha o facto de existirem fontes primárias para o estudo nomeadamente o arquivo do projeto existente na Casa da Arquitetura, fonte de onde foram recolhidas as peças escritas e desenhadas do projeto de arquitetura e as peças desenhadas do projeto de estruturas.

É ainda o primeiro caso de estudo na publicação *Low Energy Cooling - Case study Buiding*⁷², sendo um dos casos abordados pelo seu design passivo.

Este projeto é construído no período em que Portugal adota o primeiro regulamento técnico na área do comportamento térmico dos edifícios o RCCTE, Decreto-Lei 40/90 de 6 e fevereiro⁷³, sendo também um teste às soluções preconizadas no mesmo.

⁷⁰ Gonçalves, Hélder [et. al.]- **Edifícios Solares passivos em Portugal**. Lisboa: INETI, 1997.

⁷¹ Fernanda Seixas Arquitecta (1942-2017). Pioneira na conservação da energia nos edifícios.

⁷² ZIMMERMANN, Mark; ANDERSSON, Johnny. - **Low Energy Cooling - Case Study Buidings** . Watford: BRE - Building Research Establishment Ltd, 1998.

⁷³ Decreto-Lei, n. °40/90. D.R. I Série. 31 (06-02-1990). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/40-1990-334611>>

Trata-se de um projeto claramente datado, concebido em 1989, com evidentes influências da chamada 'Escola do Porto' — nomeadamente na articulação volumétrica, na disposição do programa e em alguns gestos de invenção, como a introdução de janelas angulares. No entanto, a qualidade arquitetónica global revela-se desequilibrada, sobretudo na composição dos alçados, marcados por um jogo de cheios e vazios pouco articulado, e numa relação interior–exterior notoriamente desvalorizada. Esta fragilidade é particularmente evidente na introdução de grades nas janelas, que agrava a sensação de fechamento e revela um certo desinteresse na valorização do jardim voltado a sul — espaço que, apesar do seu potencial solar e paisagístico, permanece subexplorado no desenho arquitetónico. Apesar dessas limitações formais e espaciais, o edifício apresenta um desempenho funcional e energético eficaz, o que lhe confere pertinência enquanto caso de estudo no contexto do ensino, por permitir refletir criticamente sobre as tensões entre intenção projetual, resposta técnica aos problemas térmicos

A arquiteta

Fernanda Seixas, (Porto, 1942-2017), licenciou-se pela Escola Superior de Belas Artes em 1973. Participou no projeto SAAL (Serviço de Apoio Ambulatório Local), programa de habitação para diferentes comunidades após o 25 de abril, onde assumiu a chefia de uma brigada tendo acompanhado três associações de moradores, projetando 100 fogos e equipamento infantil, em especial no Bairro de Cruz de Pau, Matosinhos. A arquiteta é lembrada como



Figura 41 - Arquiteta Fernanda Seixas

uma profissional com uma ligação empática com os seus clientes e destinatários dos seus projetos.⁷⁴

Fernanda Seixas teve também um papel fundamental no ordenamento do território, após as primeiras eleições autárquicas, em 1976.⁷⁵

Pioneira na preocupação com a conservação de energia nos edifícios, teve um papel visionário no aproveitamento solar passivo, integração de sistemas ativos e uso da iluminação e ventilação naturais. Para a arquiteta, a atenção dada à eficiência energética não era uma restrição que limitasse o seu projeto arquitetónico, mas sim uma oportunidade para aprofundar o desempenho ecológico e ambiental da sua intervenção. Fernanda Seixas trabalhou nos seus projetos com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com um grupo liderado pelos professores Oliveira Fernandes e Eduardo Maldonado. Dos seus projetos destacam-se a Creche e Jardim de Infância da Cooperativa de Construção e Habitação das Antas, em Gaia, o mercado de Oliveira do Bairro e os edifícios do Instituto de Biologia Molecular Celular no Porto e o Instituto Superior de Serviço Social do Porto, em Matosinhos.

No jornal Expresso lê-se, os edifícios que arquiteta riscava eram como girassóis, que estavam sempre com a cabeça virada para o Sol.⁷⁶



Figura 42 - Casa Maria João Delgado.
Fernanda Seixas, 1990

⁷⁴ SUCENA, Sara; FERREIRA, João Castro - **Fernanda Seixas, a Woman's Take on Architecture as Social Intervention**. ZARCH, (18), 134-147, 2022.

⁷⁵ *idem*

⁷⁶ SUCENA, Sara; FERREIRA, João Castro - **Fernanda Seixas, a Woman's Take on Architecture as Social Intervention**. ZARCH, (18), 134-147, 2022.

O cliente/proprietário

Eduardo Maldonado, (Porto, 1953) Professor Catedrático. Licenciado em Engenharia Mecânica pela Universidade do Porto em 1975 e doutorado em Engenharia Mecânica pela Iowa State University, EUA, em 1982. Docente na Universidade do Porto desde 1973. Tem uma vida dedicada à eficiência energética nos edifícios. Investigador na área do comportamento térmico e consumos energéticos nos edifícios, incluindo energias renováveis. Participação em várias dezenas de projetos de investigação, a maioria como coordenador da participação portuguesa em consórcios europeus. Coordenador europeu de vários projetos internacionais. Autor de mais de uma centena de publicações técnicas e científicas sobre estes temas, incluindo colaborações em livros de texto. Projetista de várias dezenas de projetos de climatização para edifícios. Responsável por auditorias energéticas e ambientais em numerosos edifícios. Especialista em Engenharia de Climatização pela Ordem dos Engenheiros desde 1999. Foi ainda assessor da Direção, na Direção Geral de Geologia e Energia, coordenador do Plano Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios. Relator da regulamentação portuguesa sobre Energia nos Edifícios (RCCTE e RSECE) no Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes. Representante de Portugal no Comité da Eficiência na Utilização de Energia na Comissão Europeia (2003-2005), que preparou e acompanhou a implementação da Diretiva do Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD).



Figura 43 - Professor Catedrático Eduardo Maldonado

4.1 Caracterização

Esta moradia seguiu um projecto de 1989 e foi construída entre 1990 e 1992 em Vila Nova de Gaia, num terreno situado na altitude 200m e com boas características de orientação solar.

De acordo com a metodologia em vigor situa-se na zona climática I1- V2, conforme resulta da localização e altitude. Ou seja, a estação de aquecimento dura 6,4 meses com uma temperatura média de inverno de 9,2°C. De verão a temperatura média é de 20,9°C.

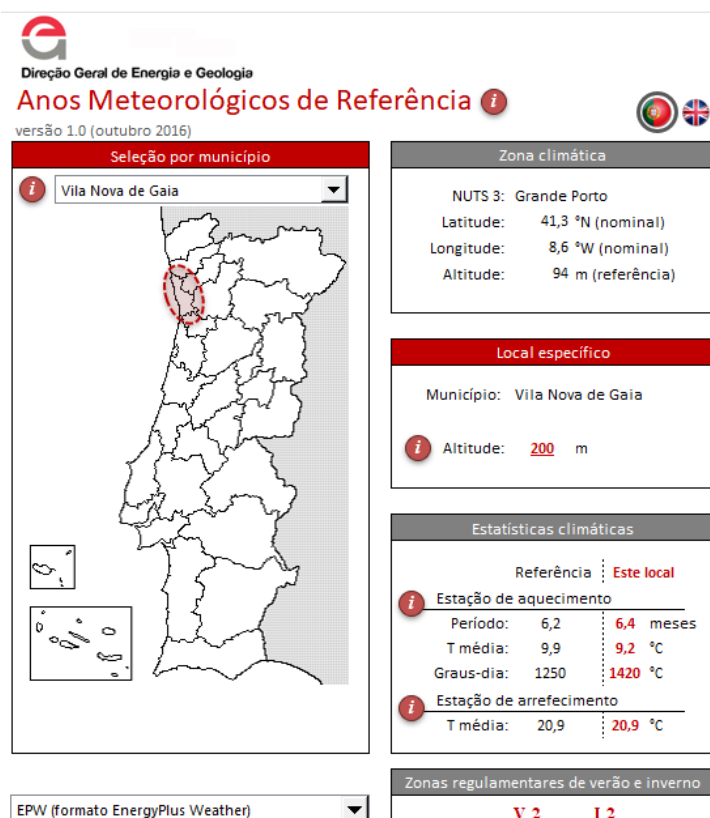


Figura 44 - Dados climatológicos. Folha de cálculo DGEG

Com uma distribuição de parâmetros meteorológicos anuais conforme se mostra no quadro seguinte.

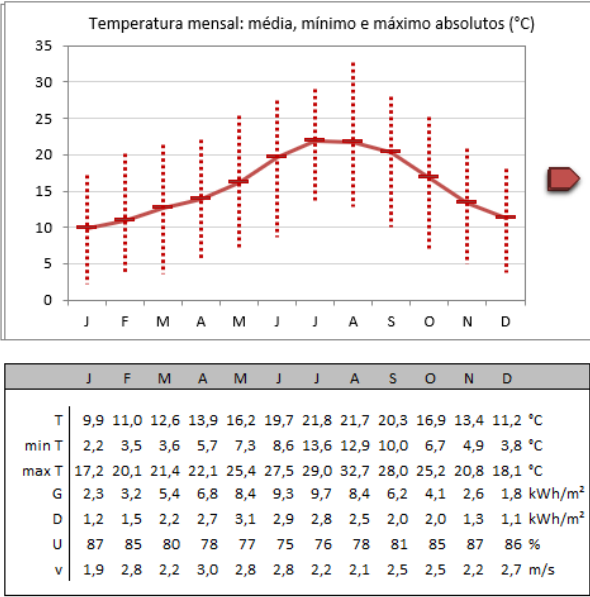


Figura 45 - Dados de temperatura, graus dia, humidade e velocidade do vento. Folha de cálculo DGEG

Vila Nova de Gaia
41,12°N, 8,61°W (122 m snm).
Modelo: ERA5T.

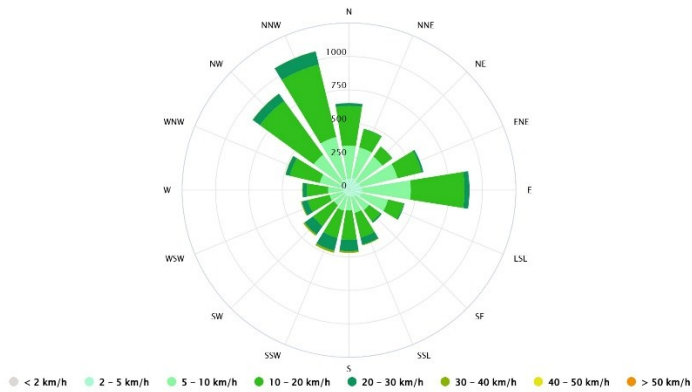


Figura 46 - Ventos dominantes.

Com os dados meteorológicos construímos a carta bioclimática de Givoni baseada no estudo realizado por Helder Gonçalves em Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal

2

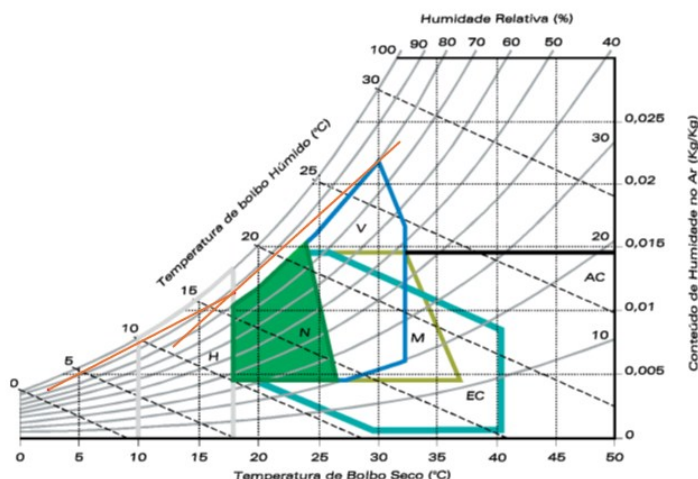


Figura 47 - Carta bioclimática de Givoni para a localização/dados climáticos.

A construção está inserida em loteamento. As dimensões do lote permitem a construção isolada.

Possui cave, R/C, andar e sótão, distribuindo-se os compartimentos habitáveis entre pelo R/C, andar e sótão. A organização dos espaços permitiu orientar os vãos envidraçados para o quadrante sul.

Do ponto de vista construtivo, a habitação foi edificada com soluções coerentes com os requisitos do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), em vigor à data da sua conceção, nomeadamente o Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro. As paredes exteriores são compostas por alvenaria dupla: tijolo de 15 cm no paramento exterior e tijolo de 11 cm no interior, com 3 cm de poliestireno extrudido (XPS) na caixa de ar, conforme documentado em pormenores de execução disponíveis em arquivo. O tratamento das

pontes térmicas segue igualmente as orientações do RCCTE, reforçando o desempenho térmico do edifício. Exteriormente, as paredes são revestidas com forra cerâmica de tijolo de 4 ou 7 cm, conferindo robustez e acabamento ao conjunto. Estas soluções permitiram garantir uma resposta aceitável — e mesmo eficaz — do ponto de vista do desempenho térmico, dentro das exigências regulamentares da época."

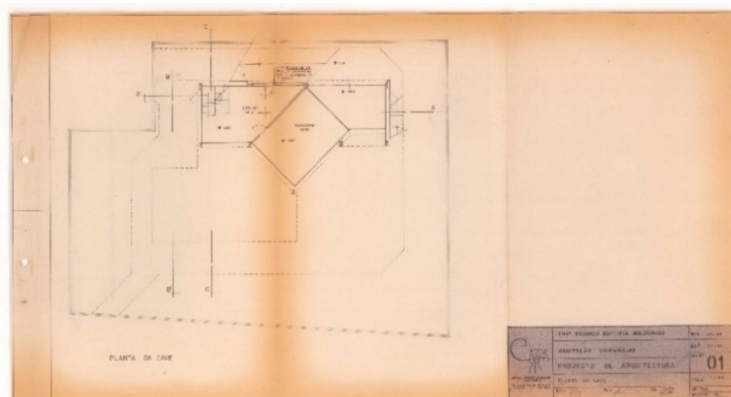


Figura 48 - Planta da cave. Do arquivo do projeto existente na casa da arquitetura.

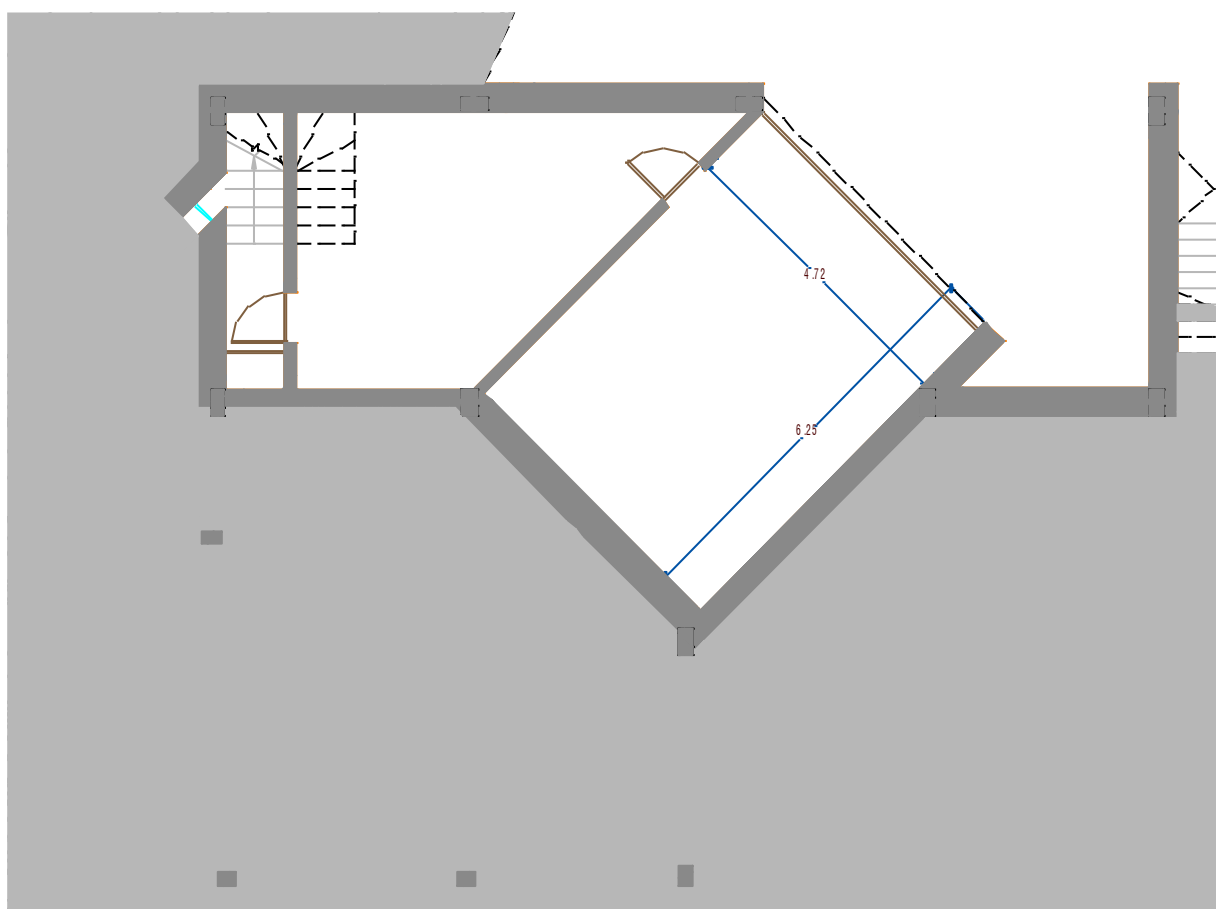


Figura 49 - Cave. - Levantamento do existente para realização do cálculo térmico.

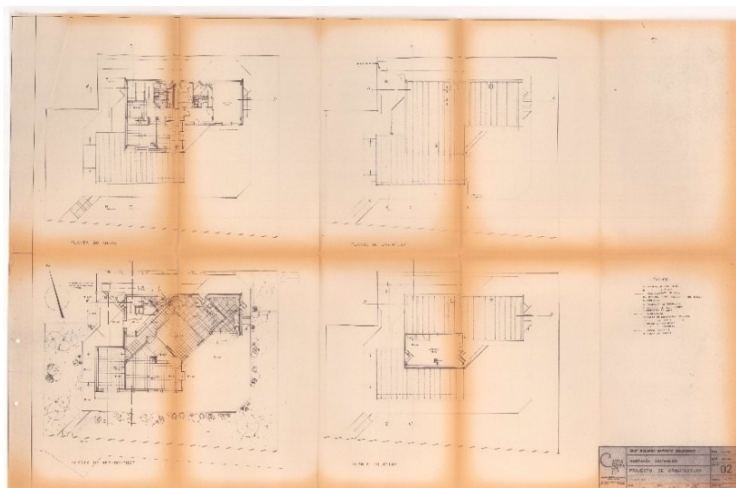


Figura 50 - Plantas de R/C, andar e sótão. Do arquivo do projeto existente na casa da arquitetura

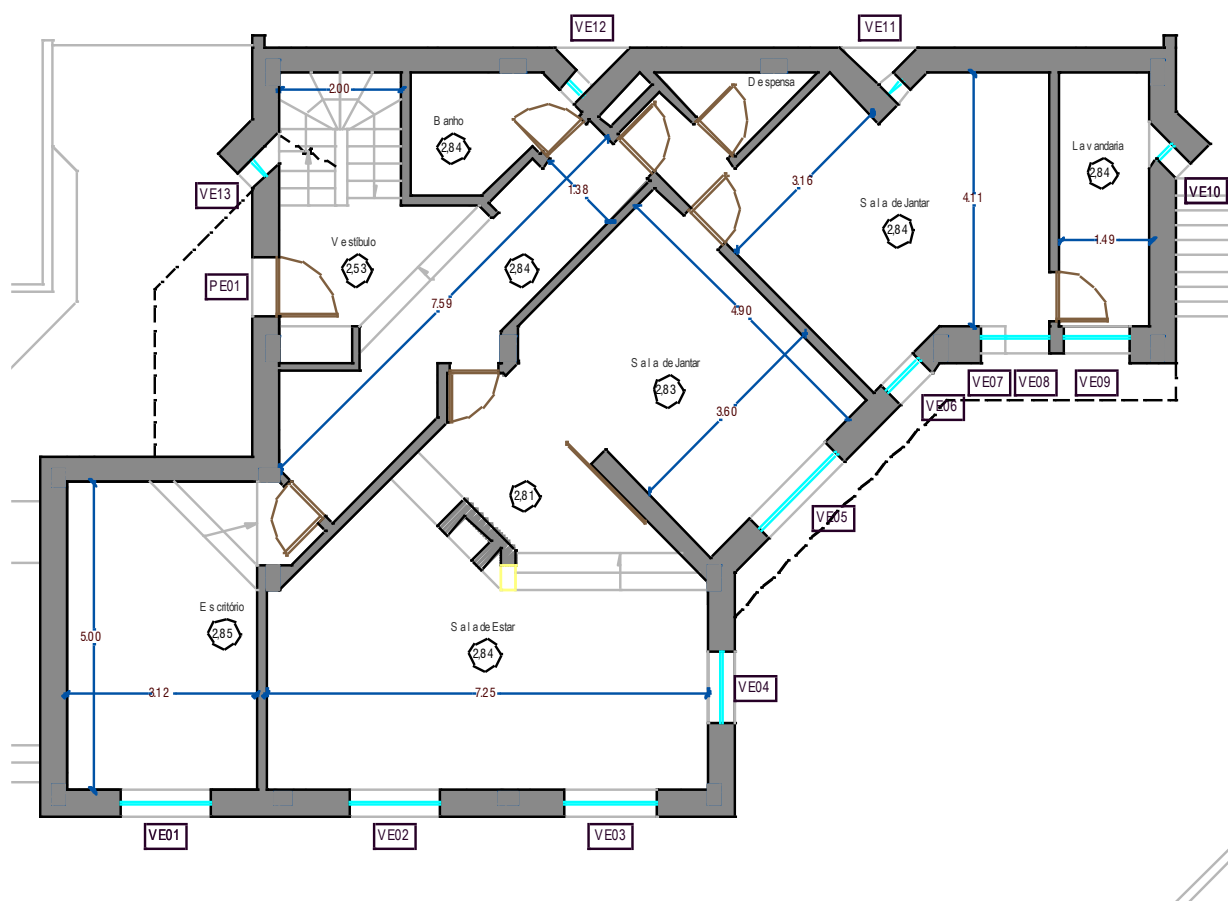


Figura 51 - R/C - Levantamento do existente para realização do cálculo térmico.

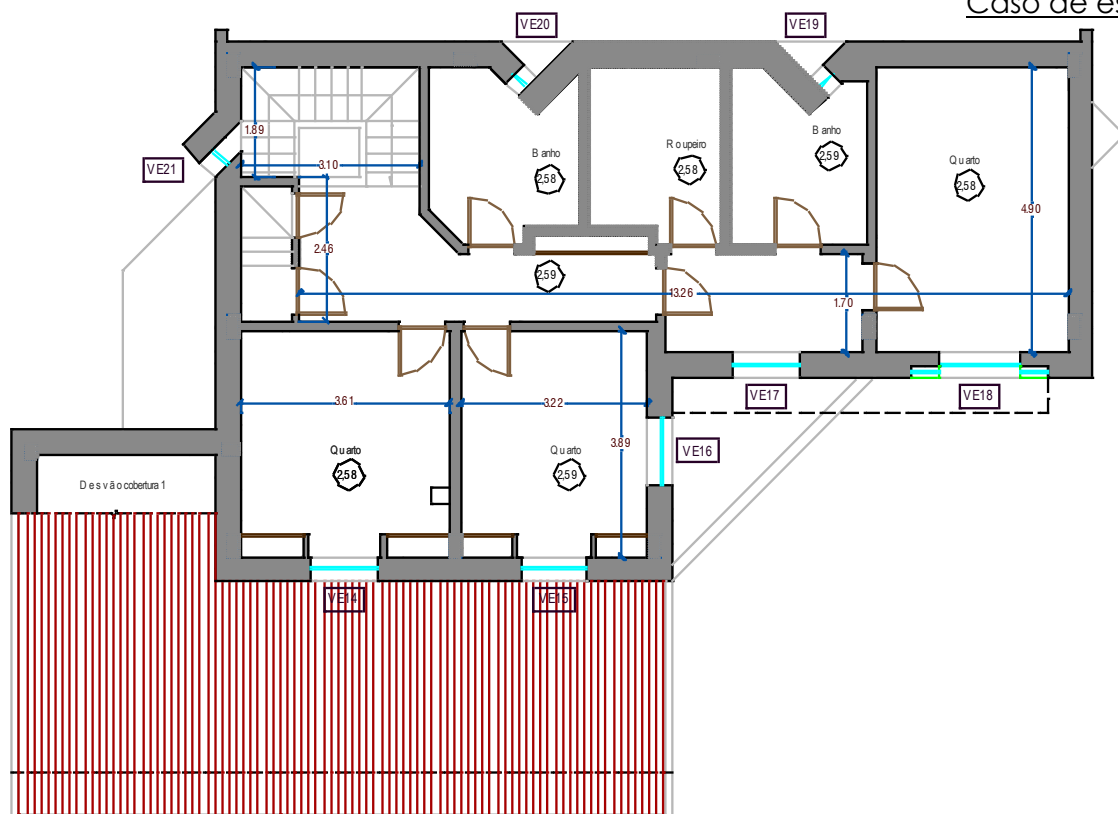


Figura 53 - Andar - Levantamento, para realização do cálculo térmico.

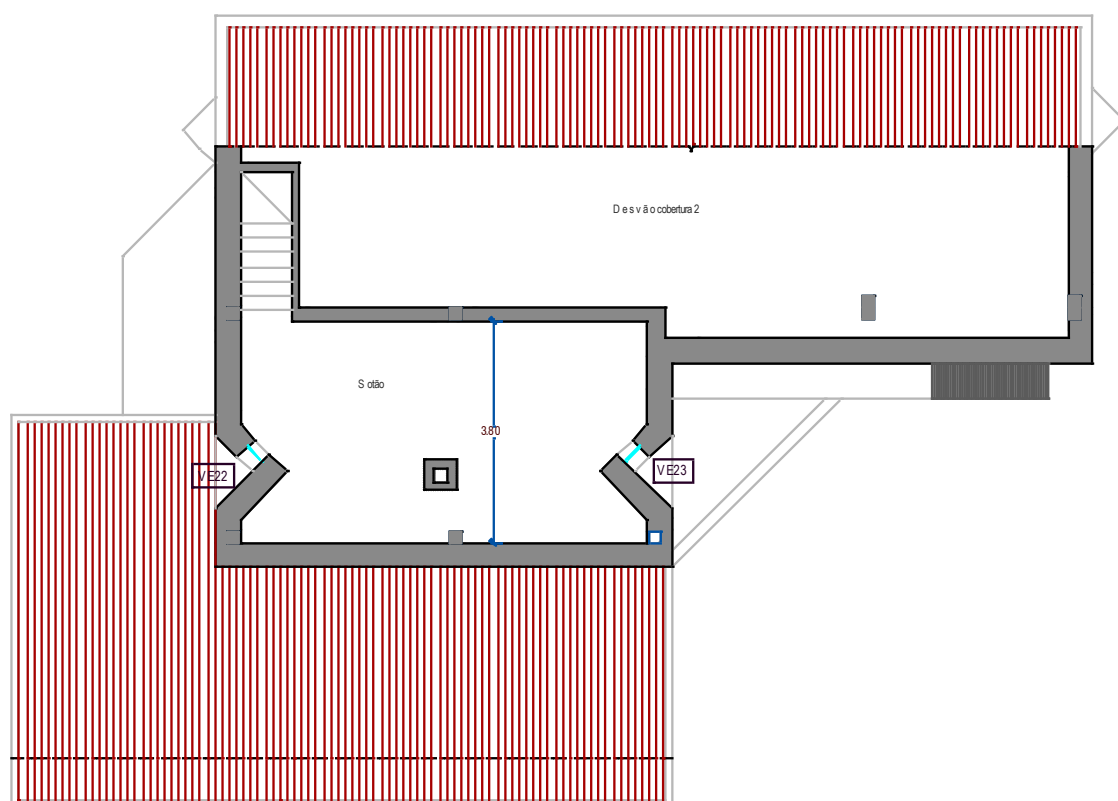


Figura 52 - Sótão - Levantamento, para realização do cálculo térmico.

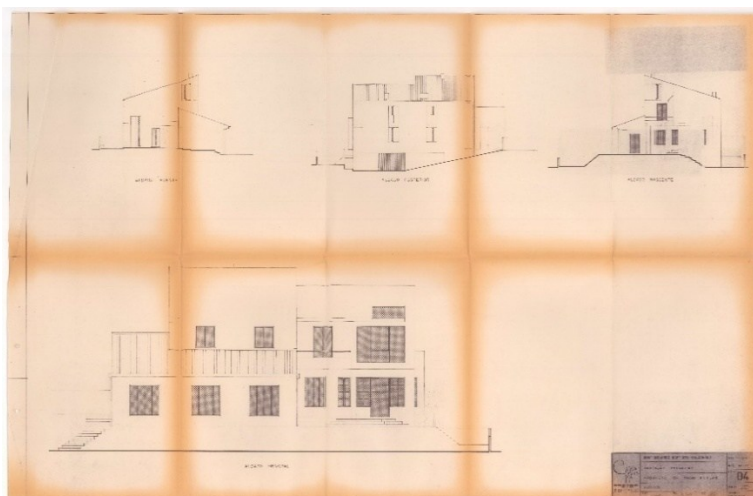


Figura 54 - Alçados. Do arquivo do projeto existente na casa da arquitetura

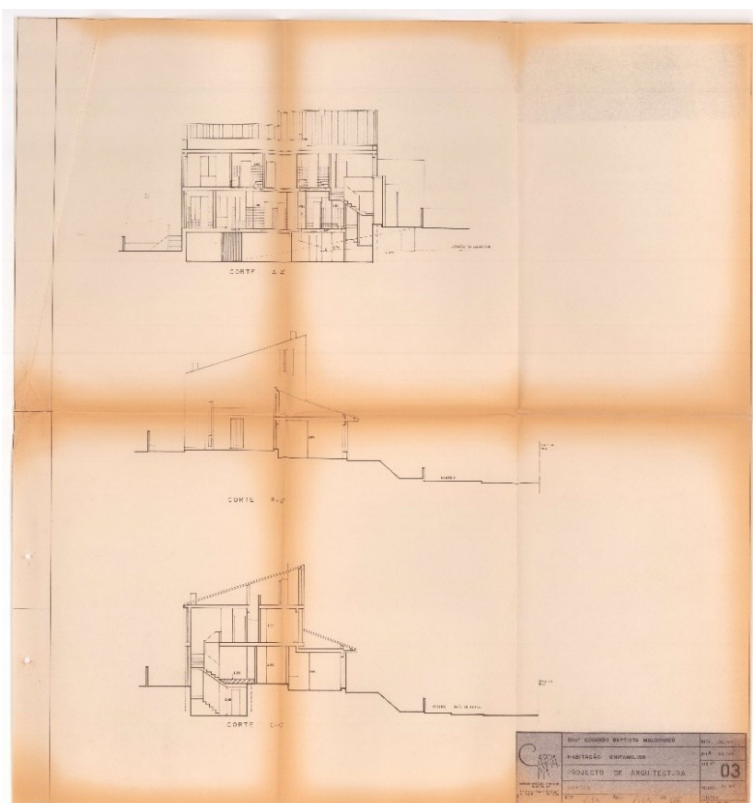


Figura 55 – Cortes - Do arquivo do projeto existente na casa da arquitetura.

Construída com soluções que se enquadravam no RCCTE, em vigor na altura, Decreto-Lei, 40/90 de 6 de fevereiro.

Paredes em alvenaria dupla de tijolo 15 exterior +11 interior, (conforme pormenor de execução contante de arquivo), com 3 cm de Poliestireno extrudido, (XPS), na caixa de ar, com o tratamento das pontes térmicas de acordo com o preconizado no RCCTE, com forra cerâmica em tijolo de 4, ou 7cm.

O coeficiente de transmissão térmica é de $0,54W/(m^2C)$.

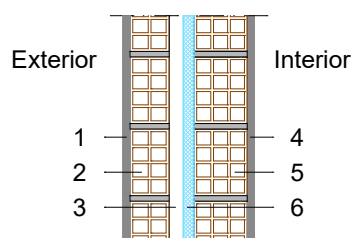
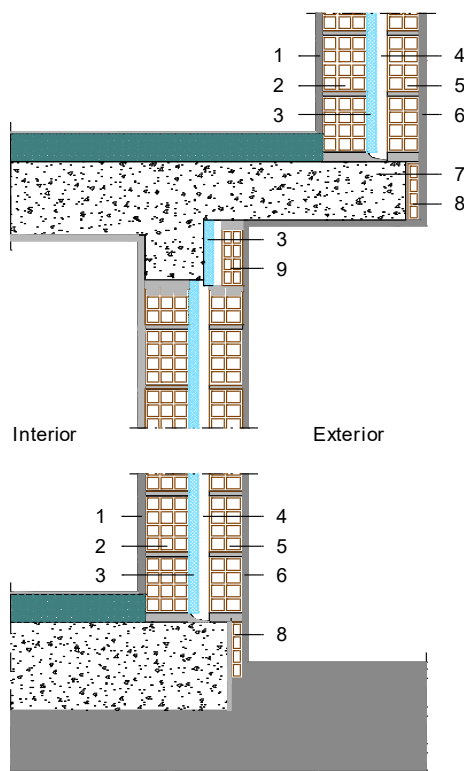


Figura 56 - Solução construtiva da parede de fachada (inicial)

1. Reboco exterior
2. Tijolo cerâmico furado 30x20x11
3. Caixa de ar
4. Reboco interior
5. Tijolo cerâmico furado 30x20x15
6. Isolamento térmico XPS com 3cm



1. Reboco interior
2. Tijolo cerâmico furado 30x20x15
3. Isolamento térmico XPS 3cm
4. Caixa de ar
5. Tijolo cerâmico furado 30x20x11
6. Reboco exterior
7. Estrutura
8. Forra em tijolo 30x20x4
9. Forra em tijolo 30x20x7

Figura 57 - Tratamento das pontes térmicas. Pavimento térreo e pavimento avançado. Esquema feito com base nos esquiços que constam do arquivo do projeto.

Posteriormente, tendo-se verificado a existência de condensações em zonas de ponte térmica plana foi reforçado o isolamento térmico das paredes exteriores com 5cm de poliestireno expandido no sistema ETICS.

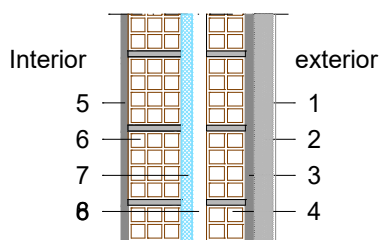
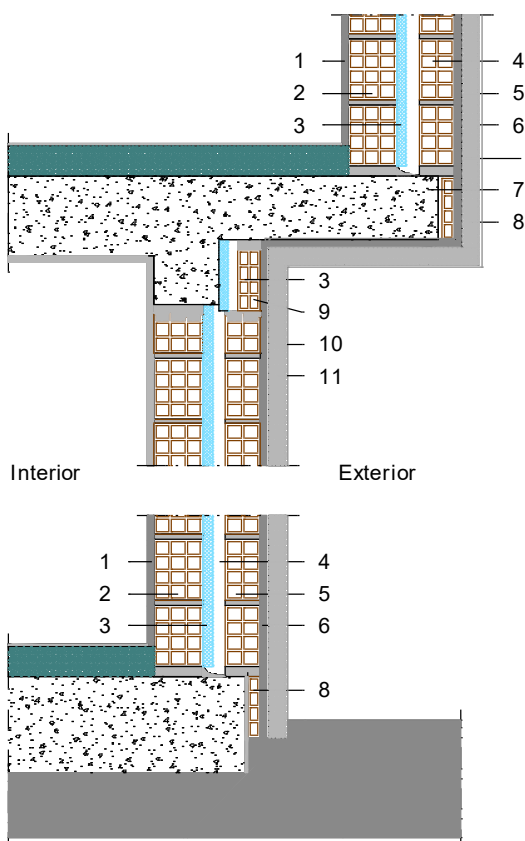


Figura 58 - Solução construtiva após melhoria.

1. Acabamento exterior ETICS
2. Isolamento térmico EPS 5cm
3. Reboco
4. Tijolo cerâmico furado 30x20x11
5. Reboco interior
6. Tijolo cerâmico furado 30x20x15
7. Isolamento térmico XPS com 3cm
8. Caixa de ar



1. Reboco interior
2. Tijolo cerâmico furado 30x20x15
3. Isolamento térmico XPS 3cm
4. Caixa de ar
5. Tijolo cerâmico furado 30x20x11
6. Reboco exterior
7. Estrutura
8. Forra em tijolo 30x20x4
9. Forra em tijolo 30x20x7
10. Acabamento exterior ETICS
11. Isolamento térmico EPS 5cm

Figura 59 - Tratamento das pontes térmicas após melhoria

O novo coeficiente de transmissão térmica passou para 0,33W/(m²°C).

Os pavimentos (sobre os espaços não úteis de garagem e arrumos ou sobre o exterior no acesso à garagem), foram realizados em lajes aligeiradas, isolados pela face exterior com aglomerado de cortiça.

As coberturas planas realizadas em lajes aligeirada isolada com isolamento pela face exterior em XPS.

Os tetos sob os desvãos de cobertura foram realizados em laje aligeirada e isolados pelo desvão com placa de poliestireno extrudido, XPS com 3cm de espessura.

As coberturas inclinadas, sobre o desvão, fortemente ventiladas, com telha sobre estrutura em vigota, foram, entretanto, substituídas no sótão por painel sandwich.

A distribuição dos espaços permite que os compartimentos principais possuam fachada e vãos envidraçados orientados para sul.

As instalações sanitárias estão a norte, possuindo janelas de pequenas dimensões que abrem para nascente ou poente.

Os vãos envidraçados, criteriosamente dimensionados, encontram-se maioritariamente no quadrante sul, para maximização dos ganhos solares.

Nos restantes quadrantes apenas existem vãos para iluminação e arejamento, essencialmente nas instalações sanitárias.

Os vãos envidraçados possuem proteção solar interior em portada de madeira lacada de cor clara além de



Figura 60 - Isolamento em aglomerado de cortiça



Figura 61 - Desvão de cobertura. Pormenor da cobertura e do isolamento da parede de fronteira com o sótão.



Figura 62 - A proteção solar em portada

pala para sombreamento. No andar onde não existe pala, estão dotados de persiana de réguas metálicas (estore).

Possui ainda uma pequena parede trombe, que serviu apenas de teste, nas palavras do proprietário, “uma brincadeira”, mais como forma de teste/experiência.

A inércia do edifício é forte pelo tipo de soluções construtivas e revestimentos aplicados.

Não utiliza sistema de arrefecimento. O sistema de aquecimento é constituído por recuperador de calor a biomassa sólida e rede de radiadores térmicos.

O sistema de aquecimento de águas sanitárias é constituído por painel solar térmico e resistência eléctrica aplicada no depósito de inércia.

Para o estudo foram consultados os projetos existentes no arquivo da casa da arquitetura, e foram realizadas diversas visitas à habitação com o acompanhamento do proprietário.

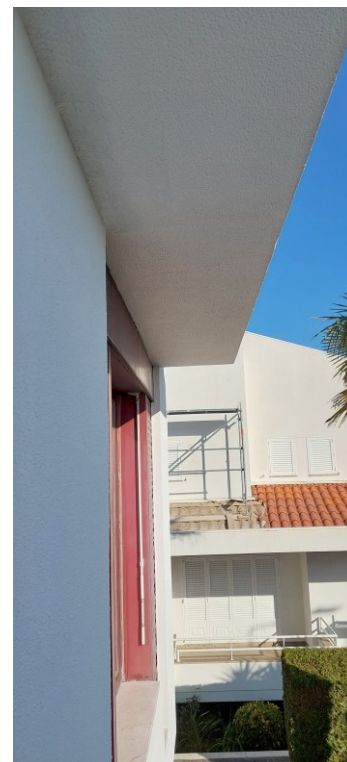


Figura 63 - O sombreamento por pala

4.2 Definição de Parâmetros de Análise

A análise será realizada utilizando software profissional, CYPETHERM SCE-HAB Model. Este software permita a modelação tridimensional para a avaliação do desempenho energético em edifícios de habitação, cumprindo com os requisitos aplicáveis a esses edifícios regulado pelo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, com base no Decreto-Lei n.º101-D/2020.

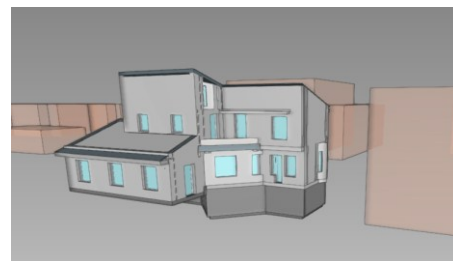


Figura 64 - Modelo tridimensional de cálculo

O edifício será modelado e serão observados os resultados para as seguintes simulações:

- Situação existente
- Projeto inicial
- Vãos sem proteção solar
- Vão com baixo fator solar
- Inércia térmica fraca
- Aumento da área dos vãos envidraçados na fachada sul

Serão observados os resultados dos valores dos seguintes parâmetros:

- Transferência de calor por transmissão das paredes ($W/^\circ C$);
- Transferência de calor por transmissão dos vãos envidraçados ($W/^\circ C$)
- Ganhos solares brutos na estação de aquecimento (envidraçados) $Q_{sol,i}$ (KWh/ano);
- Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento pelos envidraçados e pelas paredes de fachada $Q_{sol,v}$ (KWh/ano);
- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic} (kWh/m². ano);

- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc} (kWh/m². ano);
- Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc} (kWhEP/m². ano)

4.3 Modelação e Análise

A primeira simulação pretende avaliar a eficiência energética do edifício tal como se encontra. Será utilizada a metodologia prevista no Manual SCE⁷⁷ para edifícios existentes.

A simulação da solução inicial, cumprirá dois objetivos. O primeiro verificar a validade das soluções previstas com os critérios atuais. O segundo verificar a melhoria que a introdução do isolamento pelo exterior proporciona.

A terceira simulação tem como objetivo avaliar o impacto das proteções solares no conforto.

A quarta simulação, avalia o impacto do fator solar nos ganhos solares. Para esta simulação foi considerado um vidro com fator solar de 0,43 por ser uma oferta comercial existente.

A quinta simulação avalia o impacto da inércia térmica no conforto térmico. Todos os restantes parâmetros foram mantidos., incluindo o coeficiente de transmissão térmica.

A sexta simulação vai de encontro à problemática da dicotomia entre massa e transparência, entre a fachada transparente e a fachada opaca. Os envidraçados dos compartimentos principais a sul foram aumentados em cerca de 300%, ao aumentar

⁷⁷ Direção-Geral de Energia e Geologia. - **Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios**. Despacho n.º 6476-H/2021 (Diário da República), 07, 2021

o vão para quase a totalidade do pano de parede onde se encontram, com redução equivalente em área da fachada correspondente

As diversas simulações foram realizadas atendendo às regras definidas no Manual SCE⁷⁸. A definição das envolventes considerada foi de acordo com o definido no Manual⁷⁹, conforme imagens seguintes.

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Solo	
Em planta identificar pavimento (com a respectiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respectiva cor)	

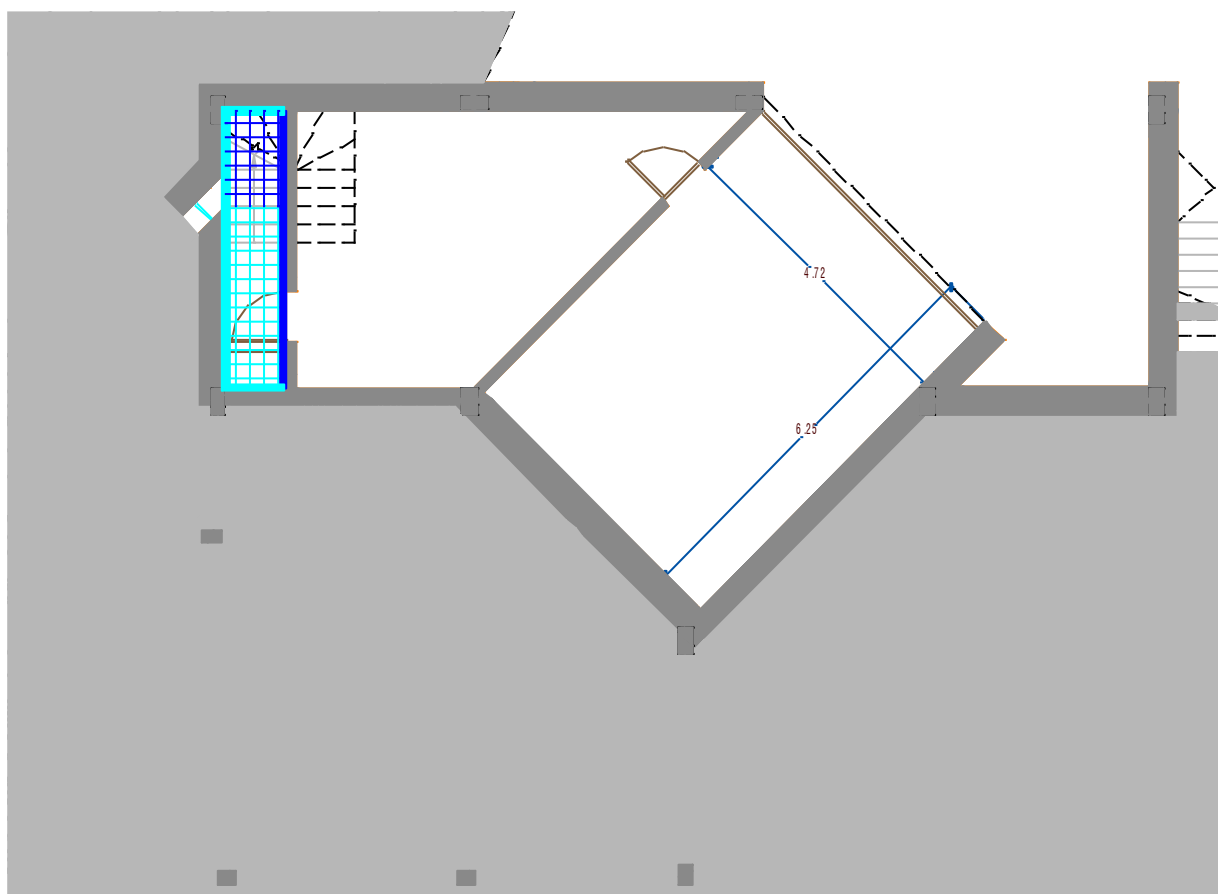
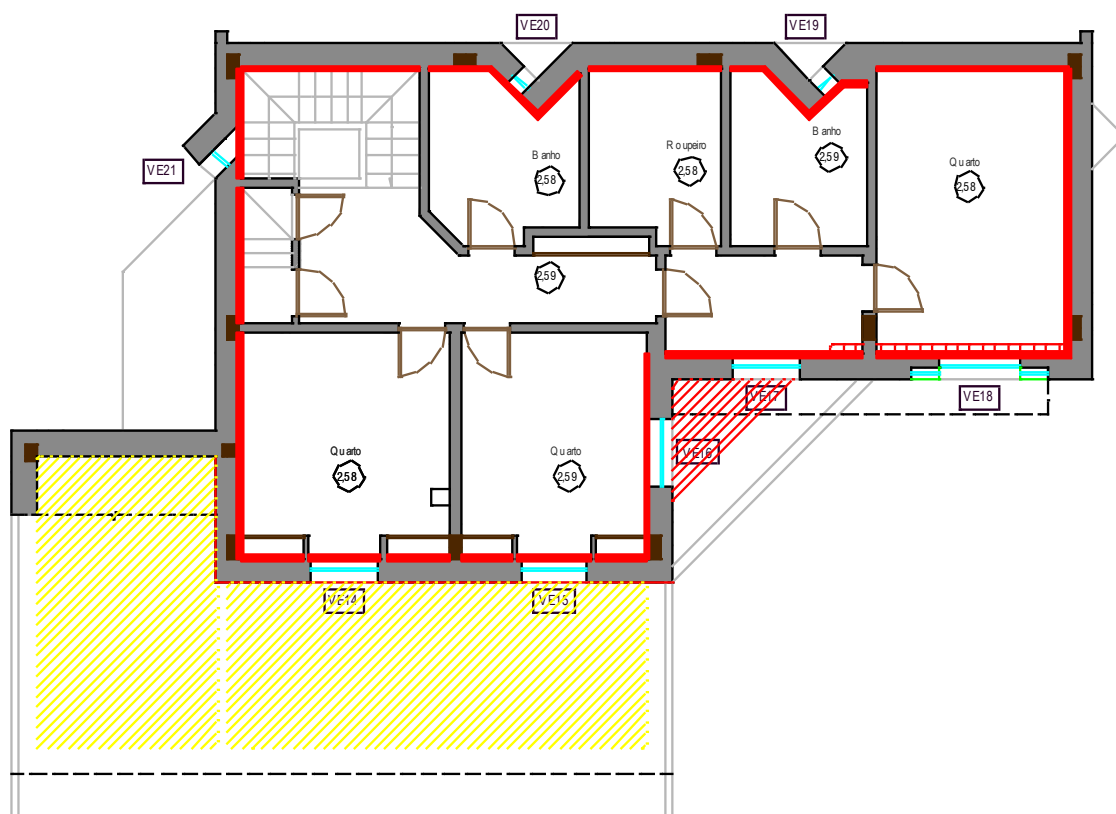
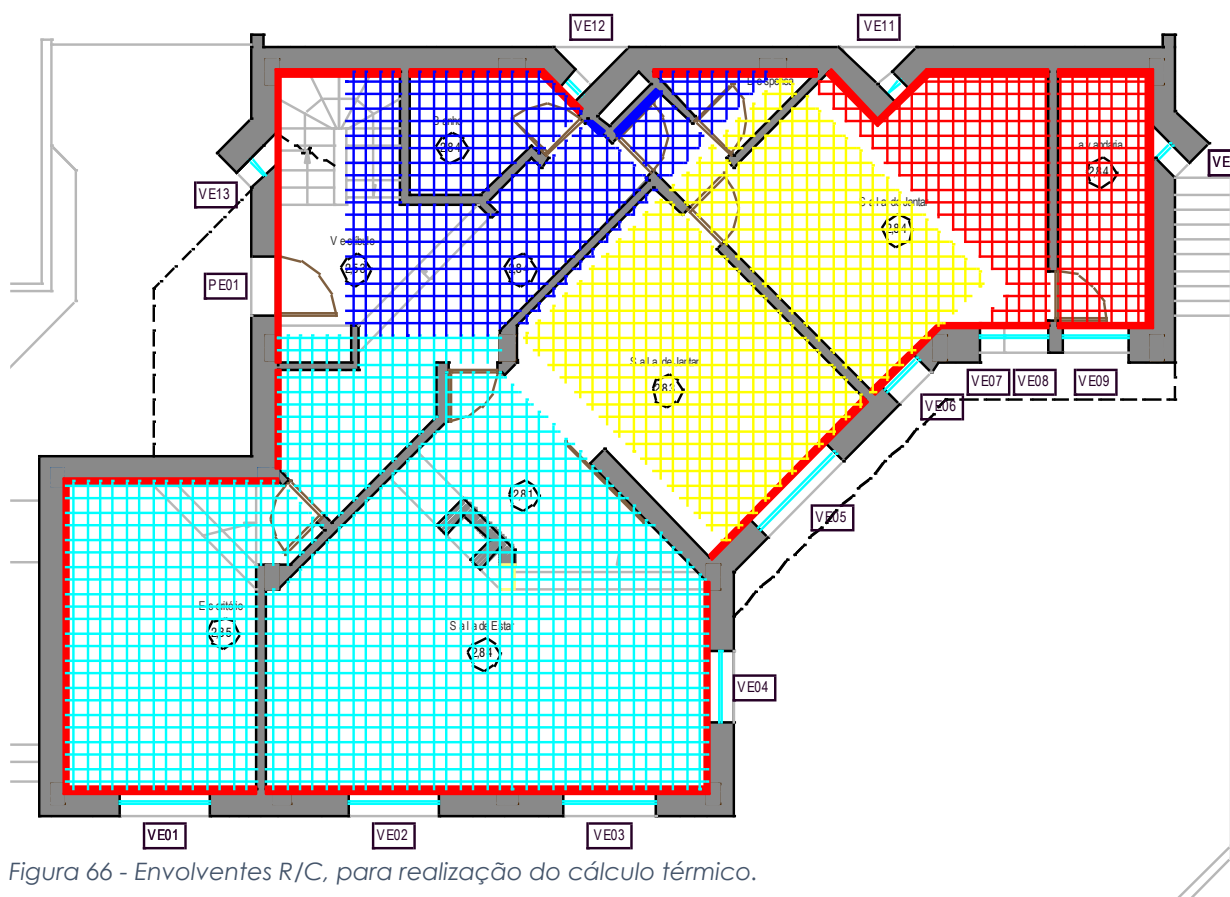


Figura 65 - Envoltória térmica da cave, para realização do cálculo térmico.

⁷⁸ Direção-Geral de Energia e Geologia. - **Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios**. Despacho n.º 6476-H/2021 (Diário da República), 07, 2021

⁷⁹ *idem*



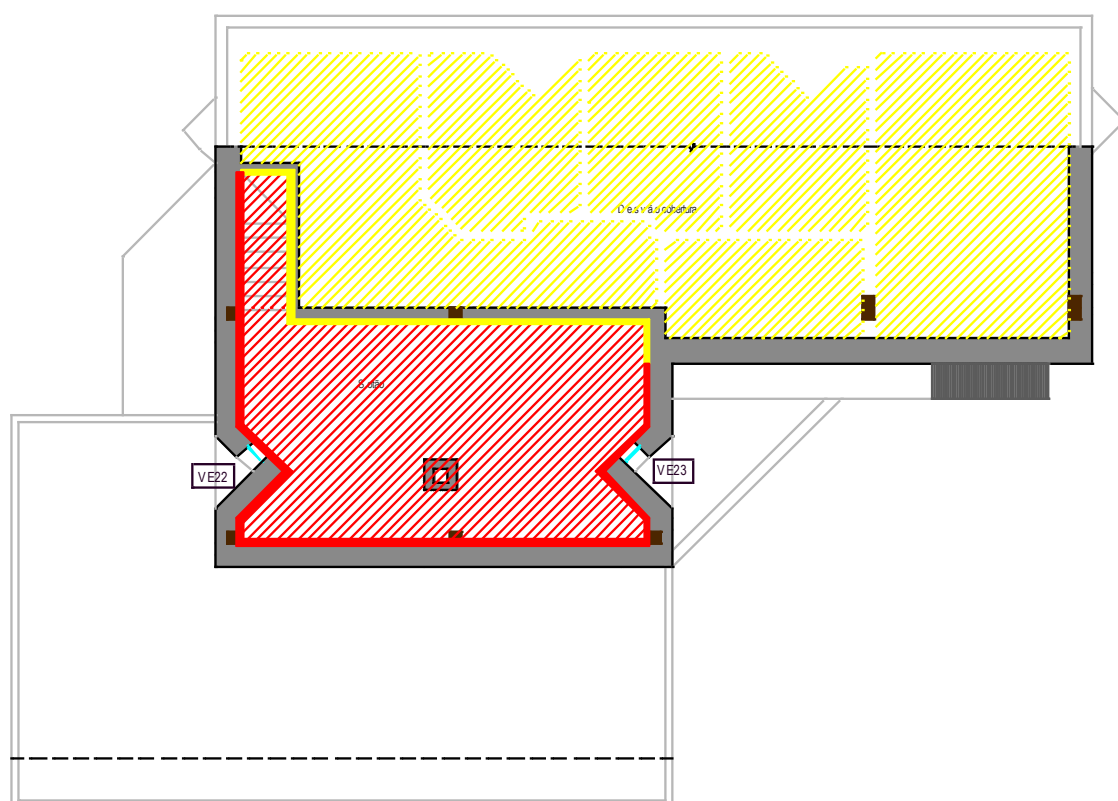


Figura 68 - Envólte sôtão, para realização do cálculo térmico.

4.4 Resultados

Tendo em conta a análise realizada apresenta-se um quadro síntese com as simulações efetuadas.

O facto do edifício utilizar uma fonte de energia renovável para aquecimento faz com que o efeito das diversas simulações se anule. É o efeito da valorização da eficiência do equipamento e da fonte de energia.

Os resultados obtidos permitem confirmar a influência dos fatores analisados.

É bem visível a melhoria verificada após a aplicação do sistema Etics. O aumento do isolamento e consequente diminuição da transmissão térmica, fizeram reduzir as perdas de pelas paredes de 125,42 W/°C para 79,14 W/°C. diminuindo também os ganhos pela envolvente opaca no verão.

A influência da proteção solar é notória quer pelo acréscimo de resistência térmica do vão, reduzindo as perdas por transmissão, quer pela diminuição do fator solar diminuindo os ganhos solares no verão. Sem proteção teríamos ganhos brutos de 3822,48 KWh/ano, com a proteção temos apenas de 2811,36 KWh/ano.

Envidraçado com fator solar baixo pode ser solução para o período quente, mas no inverno faz diminuir em muito os ganhos solares pelos envidraçados, passando de 5399,78 KWh/ano para 3091,54 KWh/ano.

Apesar de não haver alteração nas perdas nem ganhos, verificamos que se o edifício possui inércia

fraca o seu desempenho energético é muito prejudicado, não fazendo o aproveitamento devido dos ganhos no inverno e eliminando a capacidade de absorção de calor no verão. O grande agravamento do desenhinho é no verão, passando as necessidades de energia para arrefecimento de 2,91 kWh/m². ano para 7.4191 kWh/m².

Um dos aspetos mais reveladores da análise prende-se com o equilíbrio — ou desequilíbrio — entre as áreas opacas e transparentes da envolvente, um tema central tanto do ponto de vista da composição arquitetónica como do comportamento térmico do edifício.

O aumento da área envidraçada, frequentemente associado a uma maior relação com o exterior e a uma desejável ampliação da captação solar no inverno, demonstrou ter um efeito ambivalente. De facto, os ganhos solares aumentaram significativamente (de 5399,78 kWh/ano para 12957,82 kWh/ano), mas esta vantagem foi contrabalançada por um agravamento substancial das perdas térmicas por transmissão, que passaram de 122,44 W/°C para 257,4 W/°C — mais do que duplicando.

Em contrapartida, a redução da área opaca provocou apenas uma diminuição modesta das perdas pelas paredes (de 79,14 W/°C para 65,96 W/°C, ou seja, apenas -16,6%), revelando a ineficiência energética da troca direta entre parede e janela, quando esta não é acompanhada por estratégias de controlo solar, proteção térmica e adequada seleção do envidraçado.

As superfícies opacas continuam a desempenhar um papel crucial no desempenho sazonal, em especial quando associadas a materiais com maior inércia térmica, contribuindo para estabilizar o ambiente interior e mitigar os picos térmicos — tanto no verão como no inverno.

As superfícies transparentes oferecem oportunidades importantes em termos de ganhos solares passivos, iluminação natural e conexão visual com o exterior. No entanto, sem um desenho criterioso da sua orientação, dimensão, proteção e fator solar, tornam-se pontos críticos de vulnerabilidade energética.

O desempenho do edifício evidencia que a mera ampliação da área transparente, sem um enquadramento técnico e arquitetónico adequado, tende a comprometer o equilíbrio energético global — agravando o sobreaquecimento no verão e expondo a envolvente a perdas acentuadas no inverno. A reflexão sobre o peso relativo de elementos opacos e transparentes na composição arquitetónica deve, por isso, ser informada por uma lógica simultaneamente estética, funcional e energética.

Tabela 4 - Resultados do estudo do caso

Simulação	H ⁸⁰ Paredes (W/°C);	H Vãos (W/°C);	Q _{sol,i} (KWh/ano);	Q _{sol,v} Paredes (KWh/ano)	Q _{sol,v} Vãos (KWh/ano)	N _{ic} (kWh/m². ano)	N _{ic} (kWh/m². ano)	N _{vc} (kWh/m². ano)	N _{ic} (kWh/m². ano)	N _{ic} (kWhEP/m². ano)	N _t (kWhEP/m². ano)
Situação existente	79,14	122,44	5399,78	401,32	2811,36	53,23	56,44	2,91	9,15	10,10	97,10
Projeto inicial	125,42	122,44	5399,78	612,35	2811,36	65,01	56,44	2,19	9,15	10,10	97,10
Vãos sem proteção	78.64 ⁸¹	145,52	5399,78	395,36	3822,48	56,43	56,41	4,29	9,15	10,11	97,06
Vão com baixo fator solar	79,14	122,44	3091,54	401,32	1987,72	62,33	56,44	1,61	9,15	10,10	97,10
Inércia térmica fraca	79,14	122,44	5399,78	401,32	2811,36	58,14	56,44	7,41	9,15	16,29	97,10
Aumento da Fachada envidraçada	65,96	257,40	12957,82	332,63	6198,30	43,22	61,32	7,65	9,15	16,49	102,58

⁸⁰ Estão incluídas as pontes térmicas planas

⁸¹ A diferença de valor prende-se com o facto de não existir ptp da caixa de estore



CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modelos são sempre aproximações da realidade — não a traduzem todas as suas variáveis. Quando introduzimos a variável humana, eles tornam-se ainda mais falíveis, pois dependem dos modos de vida e da sensibilidade de cada indivíduo. Ainda assim, a avaliação do desempenho energético do edifício permitiu identificar, com grande clareza, as vantagens e desvantagens da utilização da transparência e da massa térmica como estratégias complementares de climatização passiva.

Foi possível confirmar os vãos envidraçados como dispositivos tecnológicos complexos de controlo energético, cuja eficácia não depende apenas da sua dimensão ou orientação, mas das características dos materiais, do fator solar dos vidros, dos elementos de sombreamento e da inércia térmica do ambiente onde se inserem. Da mesma forma, a massa continua a desempenhar um papel determinante no desempenho energético dos edifícios passivos, contrariando a noção, por vezes difundida, de que é possível obter um bom desempenho com envelopes leves e apenas bem isolados.

Esta investigação partiu de um conjunto de perguntas fundamentais, formuladas na introdução, que serviram de fio condutor ao longo do trabalho:

1. Como calibrar a composição da fachada entre transparência e opacidade de modo a otimizar o conforto térmico e a eficiência energética em climas mediterrânicos?

Através da análise do caso de estudo e das simulações realizadas, ficou claro que a calibragem

ideal depende da orientação solar, da inércia térmica da construção e da presença de dispositivos de proteção solar. Fachadas excessivamente transparentes, sem filtros ou controlo, conduzem ao sobreaquecimento no verão e a perdas térmicas significativas no inverno, exigindo maior recurso à climatização ativa. O equilíbrio ideal, portanto, não se fixa em percentagens absolutas, mas deve ser definido caso a caso, com base numa leitura sensível do clima e do território.

2. Qual a proporção ideal entre elementos opacos e transparentes?

A simulação que aumentou a área dos vãos envidraçados a sul em 300% demonstrou que, apesar do aumento dos ganhos solares no inverno, os custos energéticos no verão cresceram substancialmente, comprometendo o balanço energético global. Isso evidencia que a transparência é produtiva apenas quando articulada com massa térmica e sombreamento. Portanto, a proporção ideal entre elementos opacos e transparentes deve ser estrategicamente modulada, considerando radiação solar, orientação, ventilação e inércia.

O como diz Ignacio Paricio⁸²:

As grandes superfícies envidraçadas são bem-vindas, desde que a sua incorporação na arquitetura não comprometa a qualidade da luz e o conforto térmico. As aberturas podem ser muito maiores graças às novas possibilidades oferecidas pelas novas técnicas de vidro, mas

⁸² PARICIO, Ignacio - **La protección solar**. Barcelona: Editorial Bisagra, 1997, ISBN 84-923125-0-5. (p8)

este aumento de tamanho não pode ser alcançado sem uma análise cuidadosa das suas consequências para o ambiente interior. Nem tudo o que pode ser feito deve ser feito.

3. Como o projeto arquitetônico pode incorporar conhecimento técnico e sensibilidade climática sem sacrificar a expressão arquitetônica?

O caso de estudo da arquiteta Fernanda Seixas mostra que é plenamente possível aliar eficiência energética, conforto climático e expressão formal. Ao integrar massa térmica, orientação solar, ventilação natural e proteções solares desde a fase inicial do projeto, a arquiteta não comprometeu a linguagem do edifício, mas aprofundou a sua inteligência ambiental. O edifício torna-se assim um organismo térmico, mais do que um objeto visual — uma ideia central na arquitetura passiva, e cada vez mais essencial na prática contemporânea.

Reflexão final: para uma tectónica da energia

A questão do equilíbrio entre massa e transparência, opacidade e abertura, material e luz, remete inevitavelmente para uma leitura tectónica da arquitetura, onde a energia não é apenas uma variável de desempenho, mas um critério de conceção arquitetónica.

Para Andrea Deplazes⁸³, a fachada não é uma “membrana fina”, mas uma filigrana construtiva — composta por camadas com funções complementares de proteção, regulação e

83

expressão. A noção de “espessura” da fachada retoma aqui um sentido estratégico: não como nostalgia de um passado construtivo, mas como proposta de futuro sustentável. A espessura permite alojar isolamento, inércia, ventilação, sombra e até memória. A envolvente deixa de ser pele e volta a ser corpo.

Do mesmo modo, Kenneth Frampton, na sua proposta de uma “Tectónica Crítica”, defende que a arquitetura deve recuperar a relação entre construção, matéria e território, em oposição aos modelos genéricos e abstratos da produção industrial. Para Frampton, a tectónica não é apenas técnica — é ética e poética. E, neste sentido, integrar a energia no desenho não é uma restrição, mas uma oportunidade para redescobrir o sentido profundo da forma construída.

Esta dissertação mostrou que pensar a fachada em climas mediterrânicos é um exercício de equilíbrio entre forças invisíveis (radiação, calor, vento) e elementos visíveis (massa, vidro, sombra). É um projeto que exige conhecimento técnico rigoroso, mas também intuição construtiva e sensibilidade territorial.

Neste cruzamento entre tradição vernacular e inovação técnica, entre saber empírico e simulação digital, surge uma nova possibilidade de projeto: uma arquitetura onde o clima não é um obstáculo a vencer, mas um aliado a interpretar. Uma arquitetura onde a forma não apenas representa, mas responde. E onde a energia — silenciosa, contínua e presente — modela as formas com ética, precisão e beleza.

A abordagem adotada nesta dissertação, centrada numa metodologia de análise quantitativa do desempenho térmico, permitiu que as decisões projetuais deixassem de ser apenas formuladas por intuição ou tradição. O uso de simulação de modelos energéticos — como no caso das simulações feitas com o CYPETHERM SCE-HAB Model — demonstrou que o desenho da fachada não é apenas expressão formal, mas uma construção termodinâmica sensível. A variação controlada de parâmetros, como o fator solar, a inércia térmica ou a dimensão dos vãos, revelou efeitos mensuráveis na eficiência energética, sublinhando o papel técnico e científico do arquiteto como formulador de hipóteses, testadas em tempo real sobre modelos digitais.

Nesse sentido, este trabalho alinha-se com o pensamento de Donald Schön, que vê o projeto como um processo de “reflection-in-action”. Aqui, o arquiteto não apenas aplica conhecimento técnico, mas gera conhecimento ao projetar — testando, errando, reformulando — numa prática que é simultaneamente criativa e investigativa. O caso de estudo analisado, na sua dimensão empírica e histórica, deu suporte a essa perspectiva metodológica, permitindo validar, com base em evidência, proposições construtivas e energéticas sobre a calibragem entre opacidade e transparência.

A fachada, assim compreendida, deixa de ser apenas um artefacto visual e passa a ser um artefacto tectónico — no sentido que Kenneth Frampton propõe. A tectónica, mais do que linguagem estilística, é aqui entendida como uma ética do fazer construtivo, onde os materiais, os

sistemas e os seus modos de articulação revelam uma ordem física e cultural. Andrea Deplazes reforça essa visão ao descrever a fachada como “um sistema de camadas com funções diferenciadas”, onde cada estrato é portador de significado técnico e climático.

Portanto, o projeto de arquitetura emerge como síntese entre ciência e arte, entre análise e expressão. .
A calibragem entre massa e transparência, mais do que uma solução padrão, é um processo situado, que responde ao clima, ao uso, à cultura e à técnica. A forma tectónica que resulta deste processo é, ao mesmo tempo, racional e sensível, empírica e poética. E é precisamente nesse ponto de tensão — entre o cálculo e o juízo — que o projeto se afirma como instrumento crítico, capaz de transformar a energia do lugar em arquitetura.

.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adene - **Guia SCE**. Lisboa: Adene, 2020.

ANDRÉ, Paula ; SAMBRICIO, Carlos - **Arquitectura Popular - Tradição e Vanguarda**. Lisboa: ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa, 2016.

DEPLAZES, Andreas. **Constructing Architecture: MAterials, Processes Structures**. Birkäuser, 2005, p.18

Decreto-Lei, n. °101-D/2020. D.R. I Série. 237 (7-12-2020). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>>

Decreto-Lei, n. °40/90. D.R. I Série. 31 (06-02-1990). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/40-1990-334611>>

Direção-Geral de Energia e Geologia. - **Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios**. Despacho n.º 6476-H/2021 (Diário da República), 07, 2021

FERNANDES, Maria - **Arquitetura vernácula**. kairós - Boletim do Centro de Estudos em Arqueologia, Artes e Ciências do Património, 01 de 10 de 2019: 60-69.

GALHANO, Fernando; OLIVERIA, Ernesto - **Construção Tradicional Portuguesa**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992

GIVONI, Baruch. **Climate considerations inbuilding and urban design**. Wiley, 1998.

GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.

Gonçalves, Hélder. [et. al.]- **Edifícios Solares passivos em Portugal**. Lisboa: INETI, 1997.

HEYWOOD, Huw- **101 Regras Básicas para uma Arquitetura de Baixo Consumo**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL, 2012.

ISO/TC 163/SC 2. ISO 13790:2008 - **Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling. 2**, 2008.

MALDONADO, Eduardo, Oliveira Fernandes; GONÇALVES, Hélder Gonçalves - **Casa Termicamente Optimizada - A "Living laboratory" in Oporto.** *Passive Solar*. 07 de 1987.

MARCARENHAS, Jorge. **Sistemas de Construção - XV - Arquitectura Popular Portuguesa**. Lisboa: Livros Horizonte, Lda, 2015.

- MARCOS, Ademar José Vicente - **Vãos Envidraçados em Edifícios de Habitação: Otimização, Eficiência Energética e Análise Económica**. Porto, Universidade Fernando Pessoa, 2013. Dissertação de Mestrado.
- MENDONÇA, Paulo - **Habitar sob uma segunda pele**. Guimarães, Universidade do Minho, 2005. Dissertação de Mestrado.
- MOITA, Francisco - **Energia solar passiva**. 2ª Edição. Lisboa: Argumento, 2010.
- MONTEIRO, Andreia - **A arquitectura bioclimática : experiência e aplicação em Portugal**. Coimbra: FCTUC, UC, 2011. Dissertação de Mestrado.
- MOURÃO, Joana; PEDRO, João Branco - **Princípios de edificação sustentável**. Lisboa: LNEC, 2012.
- OLGYAY, Victor - **Design with Climate - Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 2015.
- PARICIO, Ignacio - **La protección solar**. Barcelona: Editorial Bisagra, 1997, ISBN 84-923125-0-5. (p8)
- PINHO, Vítor - **Caracterização Térmica de Vãos Envidraçados e Respectivas Protecções Solares**. Universidade do Porto, FEUP, Repositório Aberto UP, 2013. Master Thesis.
- Portaria n.º 138-I/2021. D.R. I Série. 126 (1-07-2021). Disponível em WWW: <<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>>
- RODRIGUES, António Moret; PIEDADE, António Canha.; BRAGA, Ana Marta- **Térmica de Edifícios**. Amadora: Orion, 2009.
- SANTOS, Carlos; MATIAS, Luís - **Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios**. Lisboa: LNEC, 2007.
- SOUSA, Hipólito [et al.] - **Fachadas de Edifícios**. Porto: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2016.
- SZOKOLAY, Steven - **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Oxford: Elsevier Science, 2004.
- TEIXEIRA, Artur - **Energia Solar Passiva - Princípios básicos - Cálculos - Tabelas**. Lisboa: Plátano Editora, SARL, 1984.
- VITRUVIO - **Tratado de Arquitectura**. 3ª. Traduzido por M. Justino Maciel. Lisboa: IST Press, 2009.
- Wassouf, Micheel - **Da Casa Passiva à norma Passivhaus**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL, 2014.

YANNAS, Simos - **Solar energy and housing design**. Londres: Architectural Association Publications, 1994.

ZIMMERMANN, Mark; ANDERSSON, Johnny. - **Low Energy Cooling - Case Study Buildings**. Watford: BRE - Building Research Establishment Ltd, 1998.

LISTA DE IMAGENS

Introdução

- [Figura 1] Fotografia do autor
- [Figura 2] <https://www.arte.it/guida-arte/vicenza/da-vedere/monumento/villa-caldogno-5830> [consultado a 18-09-2025]
- [Figura 3] https://evermotion.org/portfolios/show_work/43830/villa-savoye [consultado a 18-09-2025]
- [Figura 4] <https://archshop.com.br/mies-van-der-rohe-principais-obras-e-criacoes>. [consultado a 18-09-2025]
- [Figura 5] <https://www.apizm.com/blog/herbert-and-katherine-jacobs-ii-home> [consultado a 18-09-2025]
- [Figura 6] <https://www.architecturelab.net/architect/famous/walter-gropius/> [consultado a 18-09-2025]
- [Figura 7] <https://www.modlar.com/photos/1176/farnsworth-house-exterior/> [consultado a 16-09-2025]
- [Figura 8] <https://deplazes.arch.ethz.ch/> [consultado a 18-09-2025]
- [Figura 9] <https://bearth-deplazes.ch/de/projekte/turmhaus-flaesch/> [consultado a 19-09-2025]
- [Figura 10] Gráfico do autor
- [Figura 11] <https://casadaarquitectura.pt/> [consultado a 19-09-2025]

1- Arquitectura Passiva

- [Figura 12] Fotografia do autor
- [Figura 13] Fotografia do autor
- [Figura 14] <https://trasmontesdepaisagens.blogs.sapo.pt/tag/vila+boa> [consultado a 19-09-2025]
- [Figura 15] <http://oapix.org.pt/> [consultado a 19-09-2025]
- [Figura 16] <http://oapix.org.pt/> [consultado a 19-09-2025]
- [Figura 17] <http://oapix.org.pt/> [consultado a 19-09-2025]
- [Figura 18] Esquema do autor
- [Figura 19] Esquema do autor
- [Figura 20] Esquema do autor
- [Figura 21] Esquema do autor
- [Figura 22] Esquema do autor
- [Figura 23] Esquema do autor

2- Conforto Térmico

- [Figura 24] Fotografia do autor
- [Figura 25] OLGYAY, Victor.- **Design with Climate - Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 2015.
- [Figura 26] *idem*
- [Figura 27] GONÇALVES, H. ; GRAÇA, J.M. - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004, p.11
- [Figura 28] Esquema do autor
- [Figura 29] Esquema do autor

3- Massa e Transparência

- [Figura 30] Fotografia do autor
- [Figura 31] SOUSA, Hipólito [et al.] - **Fachadas de Edifícios**. Porto: Lidel - Edições Técnicas, Lda, 2016.
- [Figura 32] *idem*
- [Figura 33] *idem*
- [Figura 34] *idem*
- [Figura 35] *idem*
- [Figura 36] *idem*
- [Figura 37] Esquema do autor
- [Figura 38] Esquema do autor

4- Caso de Estudo

- [Figura 39] Fotografia do autor
- [Figura 40] Fotografia do autor
- [Figura 41] <https://www.facebook.com/casadaarquitectura.pt/posts/este-m%C3%AAs-vamos-conhecer-fernanda-seixasentramos-no-ano-de-2024-lembrando-a-figur/784234127064801/> [consultado a 17-10-2024]
- [Figura 42] Fotografia do autor
- [Figura 43] <https://edificioseenergia.pt/entrevista/entrevista2105-maldonado-ani/> [consultado a 04-09-2024]

- [Figura 44] Dados extraídos da aplicação "CLIMAS- SCE" (Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios – Fonte: DGEG); disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/mstjdaqrw/i016522.xlsm> [consultado a 03-12-2024]
- [Figura 45] Dados extraídos da aplicação "CLIMAS- SCE" (Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios – Fonte: DGEG); disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/mstjdaqrw/i016522.xlsm> [consultado a 03-12-2024]
- [Figura 46] Gráfico climático gerado e modelado no Meteoblue. Disponível em: <https://www.meteoblue.com/> [consultado a 04-12-2024]
- [Figura 47] GONÇALVES, H. ; GRAÇA, J.M. - **Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal**. Lisboa: DGGE / IP-3E, 2004.
- [Figura 48] Casa da Arquitetura
- [Figura 49] Desenho do autor
- [Figura 50] Casa da Arquitetura
- [Figura 51] Desenho do autor
- [Figura 52] Desenho do autor
- [Figura 53] Desenho do autor
- [Figura 54] Casa da Arquitetura
- [Figura 55] Casa da Arquitetura
- [Figura 56] Esquema do autor
- [Figura 57] Esquema do autor
- [Figura 58] Esquema do autor
- [Figura 59] Esquema do autor
- [Figura 60] Fotografia do Autor
- [Figura 61] Fotografia do Autor
- [Figura 62] Fotografia do Autor
- [Figura 63] Fotografia do Autor
- [Figura 64] Modelo tridimensional gerado pelo software CYPETHERM SCE-HAB Model.
- [Figura 65] Desenho do autor
- [Figura 66] Desenho do autor
- [Figura 67] Desenho do autor
- [Figura 68] Desenho do autor

APÊNDICE E ANEXO

ELEMENTOS DE PROJECTO

Memória descritiva e Peças desenhadas do Projeto

Do arquivo do projeto existente na Casa da Arquitectura

CARPA
PPA

HABITAÇÃO PARA O LOTE Nº 101
DO LOTEAMENTO DA QUINTA DO SARDOAL
(A. 43/86) - MAFAMUDE - VILA NOVA DE GAIA

PROJECTO DE ARQUITECTURA

MEMÓRIA DESCRITIVA

1. INTRODUÇÃO

A configuração do lote, definição de acessos do loteamento, a variação de cotas no interior do lote e a sua orientação, determinaram a ocupação proposta.

Assim, a construção organiza-se em dois volumes principais que na sua articulação definem as entradas enquadradas nos panos de construção. A relação destes volumes dá diferentes cêrceas que se integram nos muros de vedação.

O cul-de-sac de chegada quando esta se faz em viatura fica deste modo rematado, como o pede um cul-de sac, quebrando-se a diluição repetitiva dada por muros de vedação sempre da mesma altura.

A diferença de cotas entre aquele nível e o da via principal é de cerca de 2,5 metros, tendo-se escalonado as cotas de implantação do piso térreo de forma a criar plataformas que encaixam a construção no terreno, tirando-se proveito da exposição solar mais favorável. De igual modo com os espaços exteriores se propõe a melhor adaptação ao terreno, quer com a inserção de passagens, quer com a definição de plataformas, quer ainda com o ajardinamento de toda a envolvente, considerando a manutenção das árvores existentes do lado Nascente.

CONSTRUÇÃO ARQUITECTURA E PLANEAMENTO — PLANOS E PROJECTOS
Rua Gonçalo Sampaio 379 3 ET 4100 PORTO Tel. 667598

fs

afredap

dos quartos dispõe de quarto de banho privativo e do roupeiro.

O jogo de coberturas permite o aproveitamento de vão numa parte da área para arrumos, ficando aí instalado o depósito de água e o termoacumulador, como se indica em desenho.

4. ESTRUTURA, MATERIAIS E ACABAMENTOS

A estrutura é laminar, com pilares incorporados no pano interior da parede exterior; os pilares interiores ficam também escamoteados.

Na relação sala - quartos a variação de cota de piso é acompanhada de variação das lages de tecto aligeiradas, vencendo-se aquela diferença com viga, como se indica em desenho.

Nas restantes áreas interiores do rés-do-chão não se apresentam vigas aparentes pelo que a lage será maciça.

Sobre o 1º andar a lage é de novo aligeirada.

A construção é isolada em toda a envolvente; nas paredes exteriores com interposição de lâ de vidro na caixa de ar; nas coberturas, com poliestireno expandido sobre a lage de tecto, e nas coberturas em terraço com poliestireno extrudido sobre as telas, no sistema de "cobertura invertida".

As paredes exteriores são rebocadas com acabamento areado fino pintadas de branco-marfim.

A cobertura é em telha marselha

As caixilharias serão em alumínio anodizado, com portaças interiores em madeira.

Os pátios exteriores são em lajetas de betão, sendo o acesso à garagem em cubos de granito.

fcs

4/10/65

A construção é toda aberta para o Sul, dispondo de protecções à incidência solar em tempo quente dadas por beirado, pala e recuo na inserção das janelas, no 1º andar. A fachada Norte tem as aberturas necessárias à iluminação e ventilação dos compartimentos adjacentes - cozinha e quartos de banho, facultando também a ventilação transversal do edifício.

2. ÁREAS E ÍNDICES

Área total de lote 565m²

Área de implantação 193m²

(34% da área do lote)

Área de construção 328m²

$\frac{\text{Terreno construído}}{\text{Terreno}} = \frac{328}{565} = 0,58$

Habituação tipo T3 - 6 pessoas

Densidade 106 hab./ha

NOVO CV - 48
R/C - 187
1.º A - 990
S - 35
354

3. ORGANIZAÇÃO DE FUNÇÕES

A entrada principal define-se em ângulo permitindo-se o acesso tanto através da chegada pelo cul-de-sac (v 2,30), como através da via principal (v 0,00).

O vestibulo (v 2,50) articula os espaços do rés-do-chão (v 1,86) e o 1º andar (v 5,02).

No rés-do-chão instalam-se o escritório, salas de jantar e estar, esta última com desnível no pavimento, cozinha-copa, área de tratamento de roupas, sanitário de apoio e garagem.

No 1º andar instalam-se 3 quartos, 2 quartos de banho e roupeiro. Um

Afchps

FS

Pelo interior os pavimentos do vestíbulo e salas são em tijoleira de barro, sendo os das áreas de serviço em mosaico vidrado.

As paredes das zonas de águas e dispensa têm revestimento em azulejo até 1,60m de altura, sendo o acabamento da restante área destas paredes, de todas as outras paredes interiores e dos tectos, estucado.

5. REDE DE ÁGUAS PLUVIAIS

A água das coberturas e terraços é conduzida para tubos de queda de $\varnothing$ 100mm, que desembocam em caixas de areias, como se indica em planta.

É possível conduzir uma parte das águas para a caixa interceptora e ligação à rede do loteamento.

As recepções em pontos de cota mais baixa são conduzidas para trincheira filtrante a executar, uma vez que a Rua principal não dispõe de colector.

As tubagens entre caixas têm uma inclinação de 2%.

6. REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS E SANEAMENTO

O abastecimento é executado a partir de rede pública em tubo de PVC de 1 1/2" com interposição de contador de caudal.

A distribuição faz-se para as diferentes peças em tubo de $\varnothing$ 1" e 3/4".

A rede de água quente segue os mesmos traçados da de água fria, realizando-se em tubo de cobre de $\varnothing$ 3/4".

Todas as peças serão munidas de sifão. As saídas fazem-se em tubo de PVC de $\varnothing$ 50mm para todas as peças, de $\varnothing$ 80mm para os tubos de queda provenientes de caixas de ligação e de $\varnothing$ 100mm para as saídas das ba-

Afrades

h. fm

cias sifónicas.

Os tubos de queda são prolongados superiormente para ventilação. Inferiormente faz-se a união de quedas em caixas de visita, como se indica em desenho.

As caixas de visita serão em blocos de cimento com reboco exterior e interior, sendo o interior queimado, definindo-se as meias canas necessárias à boa condução dos efluentes.

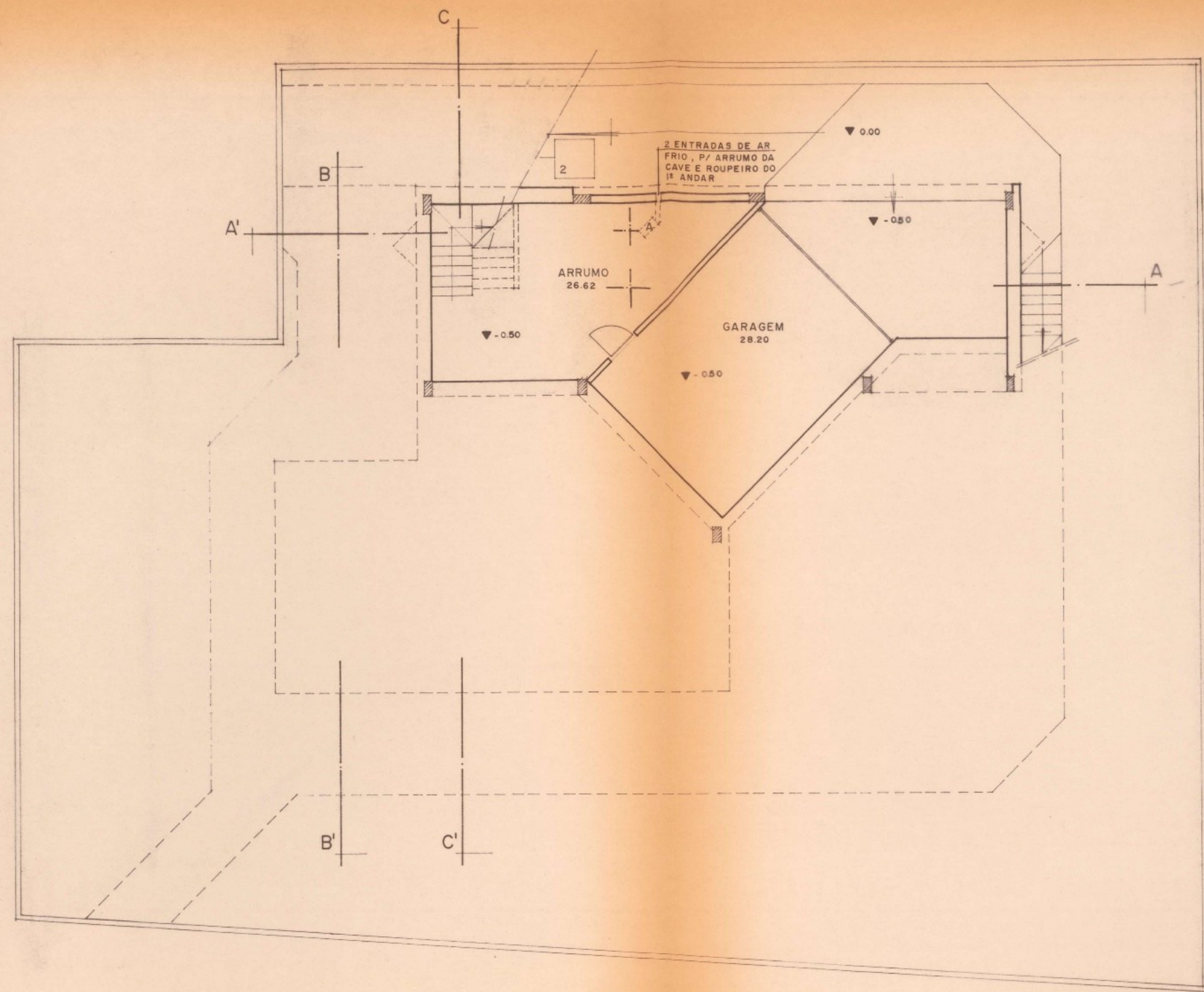
Todos os percursos na horizontal terão uma inclinação de 2%.

Por fim faz-se a ligação para caixa interceptora e ramal para a rede do loteamento.

Porto, 24 de Julho de 1989

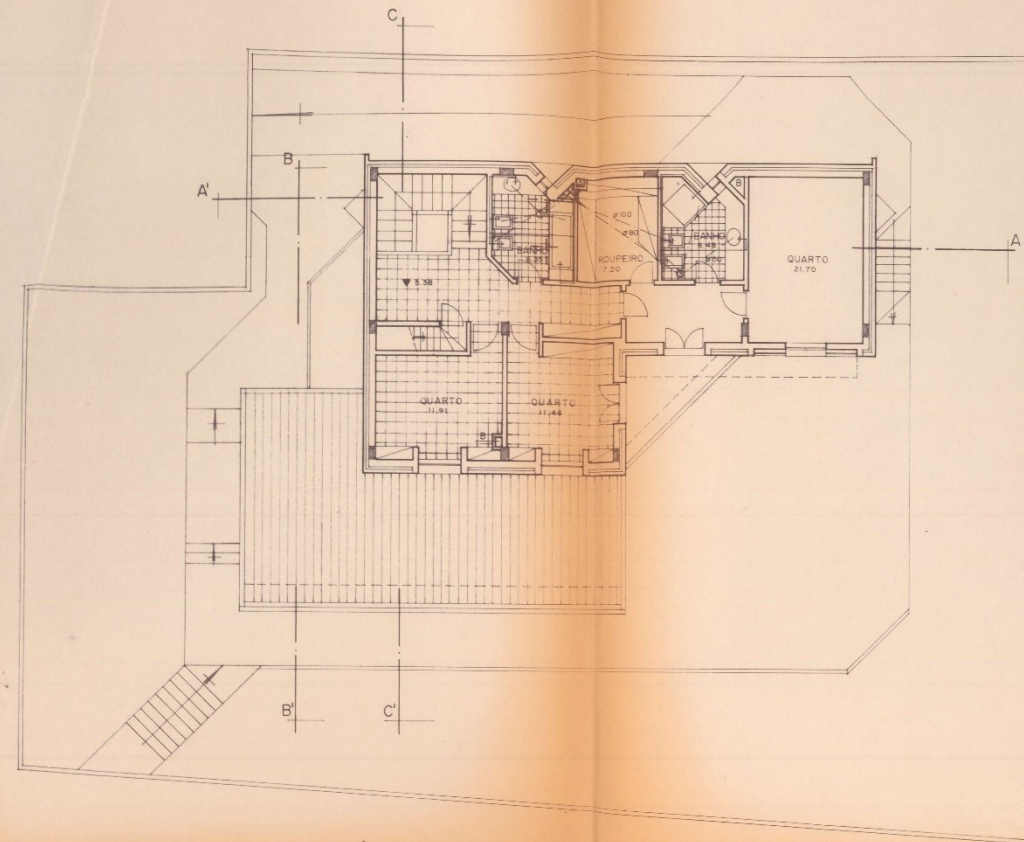
António T. de S. L.

António

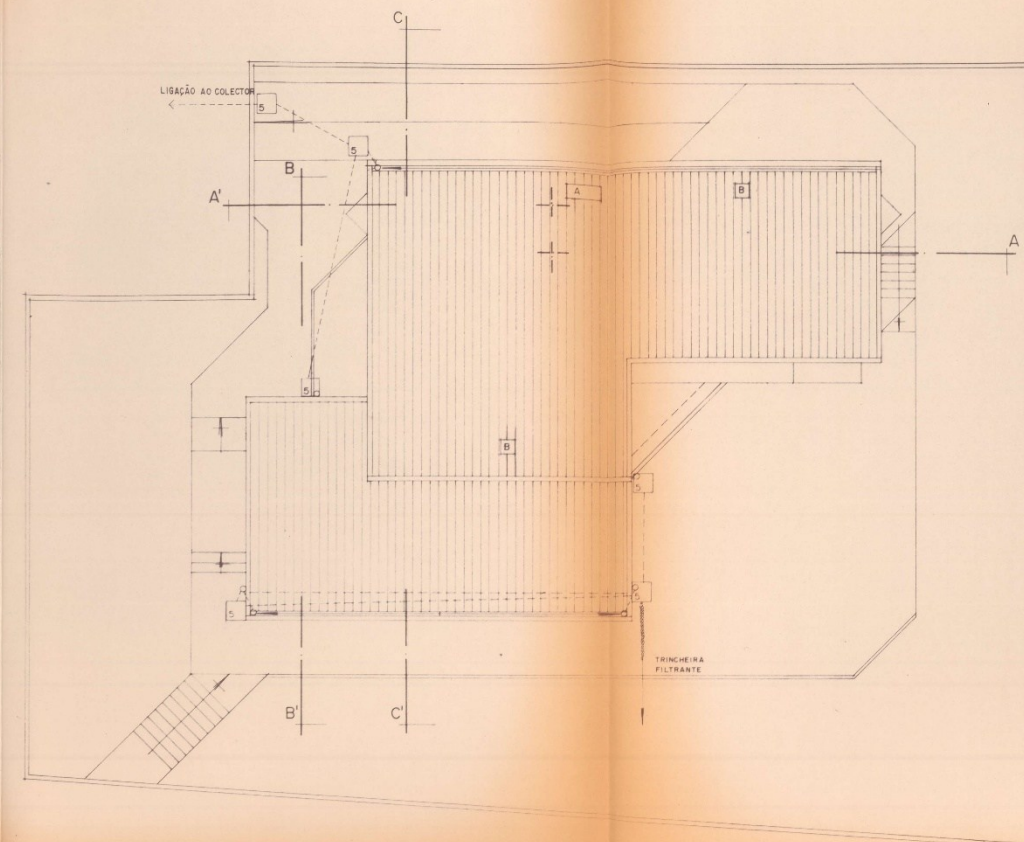


PLANTA DA CAVE

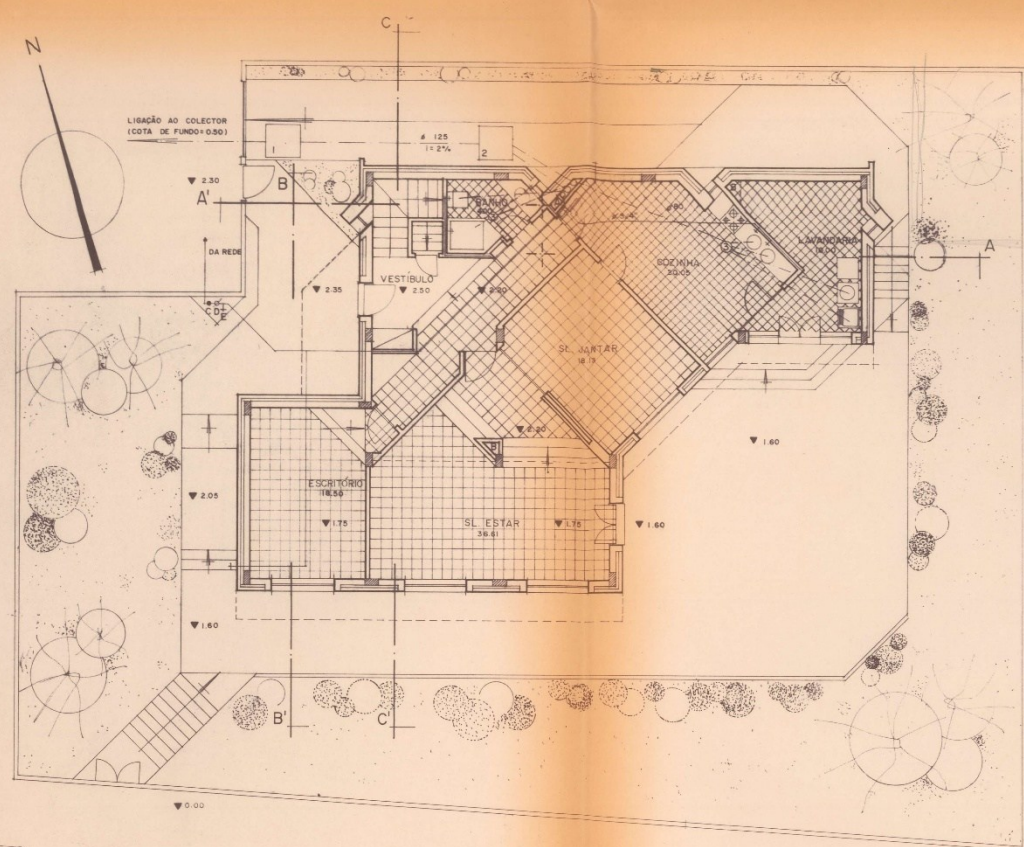
CARPA PP CONSTRUÇÃO ARQUITECTURA E PLANEJAMENTO PLANOS E PROJECCOES Rua General Bompas, 273-3 Lq. 1 Tel. 847300	ENGº EDUARDO BAPTISTA MALDONADO		DATA JUL/89
	HABITAÇÃO UNIFAMILIAR		REF. 86/89
	PROJECTO DE ARQUITECTURA		DES. Nº 01
	PLANTA DA CAVE		ESCALAS: 1/100
	RESP. <i>ES</i>	PROJ. <i>ES</i>	DES. <i>ES</i>



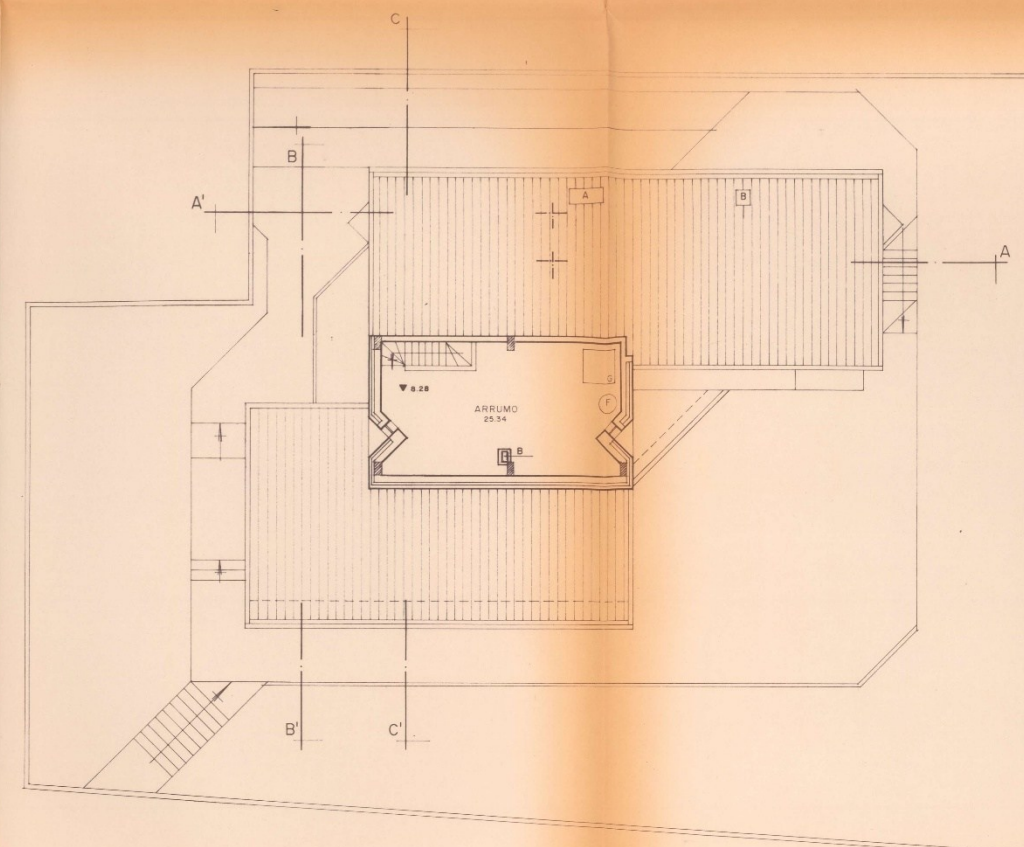
PLANTA DO ANDAR



PLANTA DE COBERTURA



PLANTA DO RÉ-S-DO-CHÃO

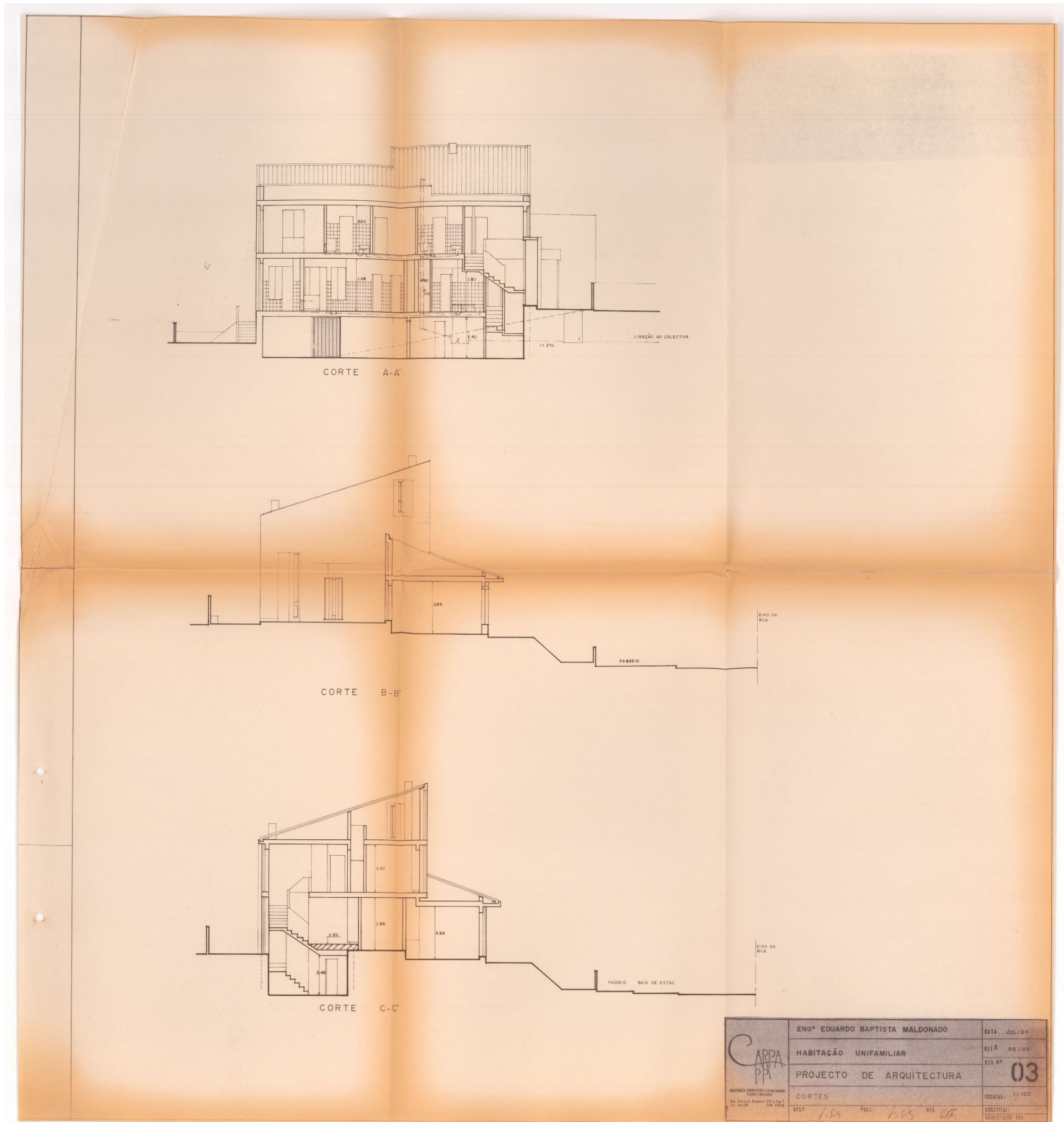


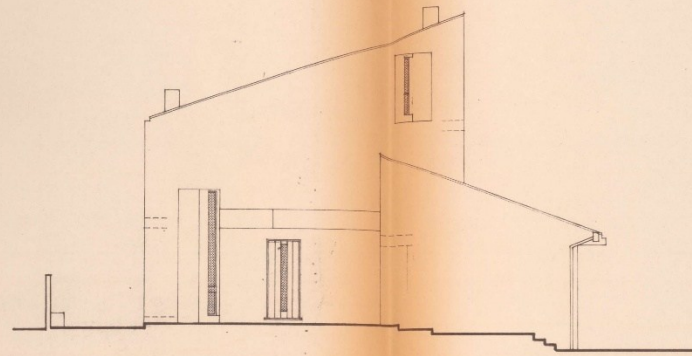
PLANTA DO SOTÃO

LEGENDA

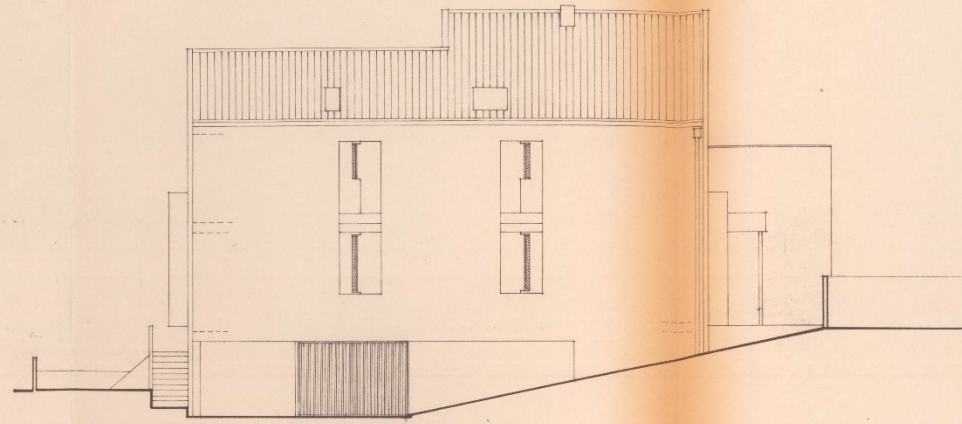
- A - CHAMINÉ DE VENTILAÇÃO
- B - " " FUMOS
- C - ABASTECIMENTO DE ÁGUA
- D - TORNEIRA ADUFA SELADA PELOS S.M.A.S.
- E - PASSADOR DE SEGURANÇA
- F - CILINDRO DE ÁGUA QUENTE
- G - DEPÓSITO DE ÁGUA
- H - SANEAMENTO
- I - CAIXA INTERCEPTORA (100 x 100)
- J - " " DE VISTA
- K - SIFÃO DE PAVIMENTO
- L - " " GORDURAS
- M - ÁGUAS PLUVIAIS
- N - CAIXA DE AREIAS

CARPA COMPANHIA ARQUITECTURA E PLANEJAMENTO Eng. Eduardo Baptista Maldonado Eng. Sérgio Soares	ENG. EDUARDO BAPTISTA MALDONADO	DATA: JUL/89
	HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	REF. 06/89
	PROJECTO DE ARQUITECTURA	02
	PLANTAS	ESCALA: 1/100
DESP. <i>[assinatura]</i>	PROJ. <i>[assinatura]</i>	REV. <i>[assinatura]</i>
		ELABORADO POR:

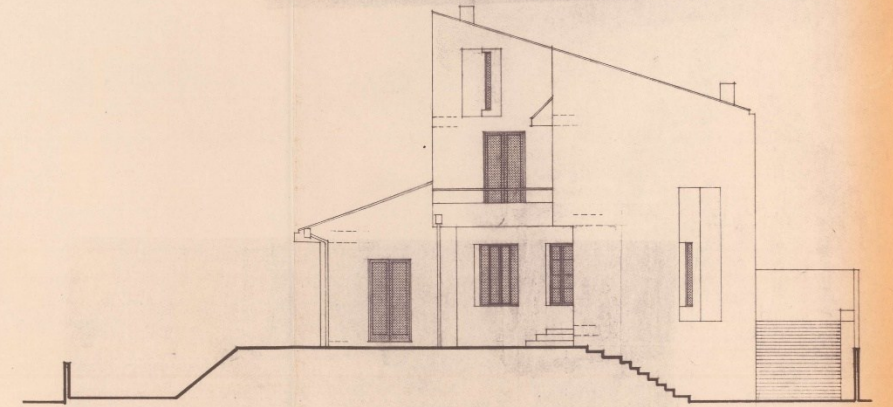




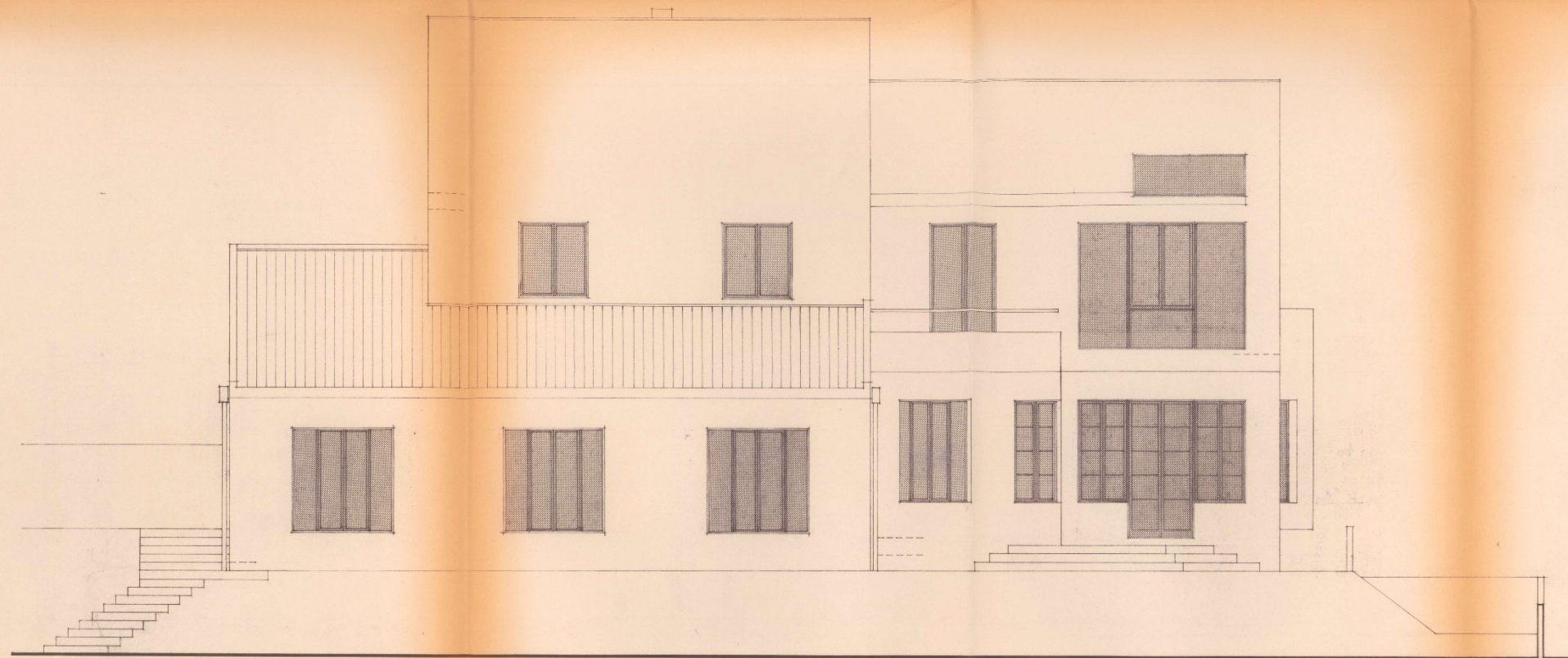
ALÇADO POENTE



ALÇADO POSTERIOR

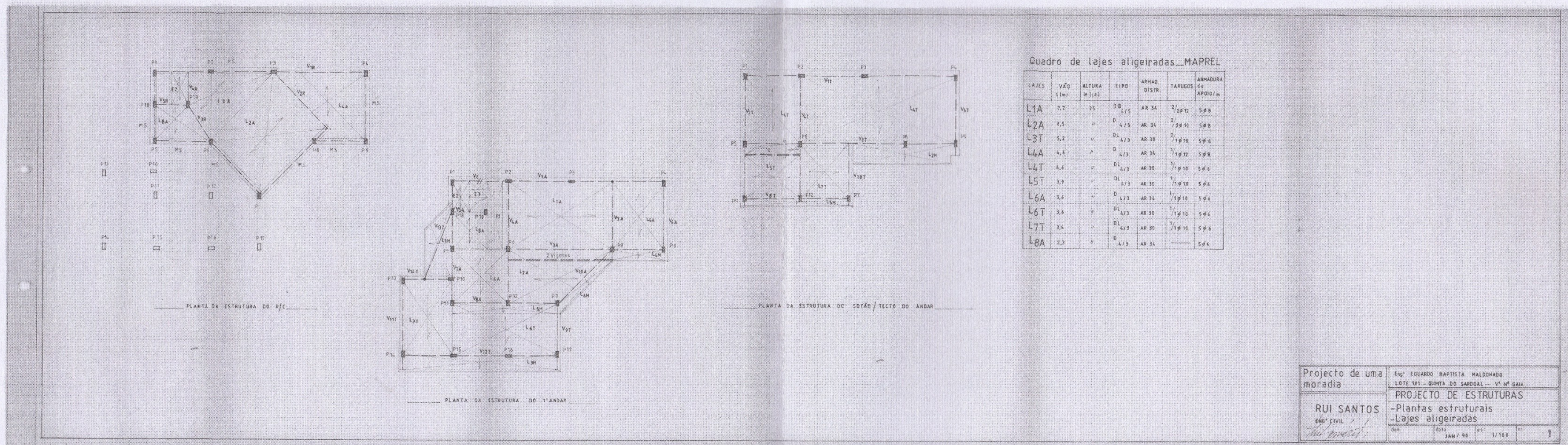


ALÇADO NASCENTE

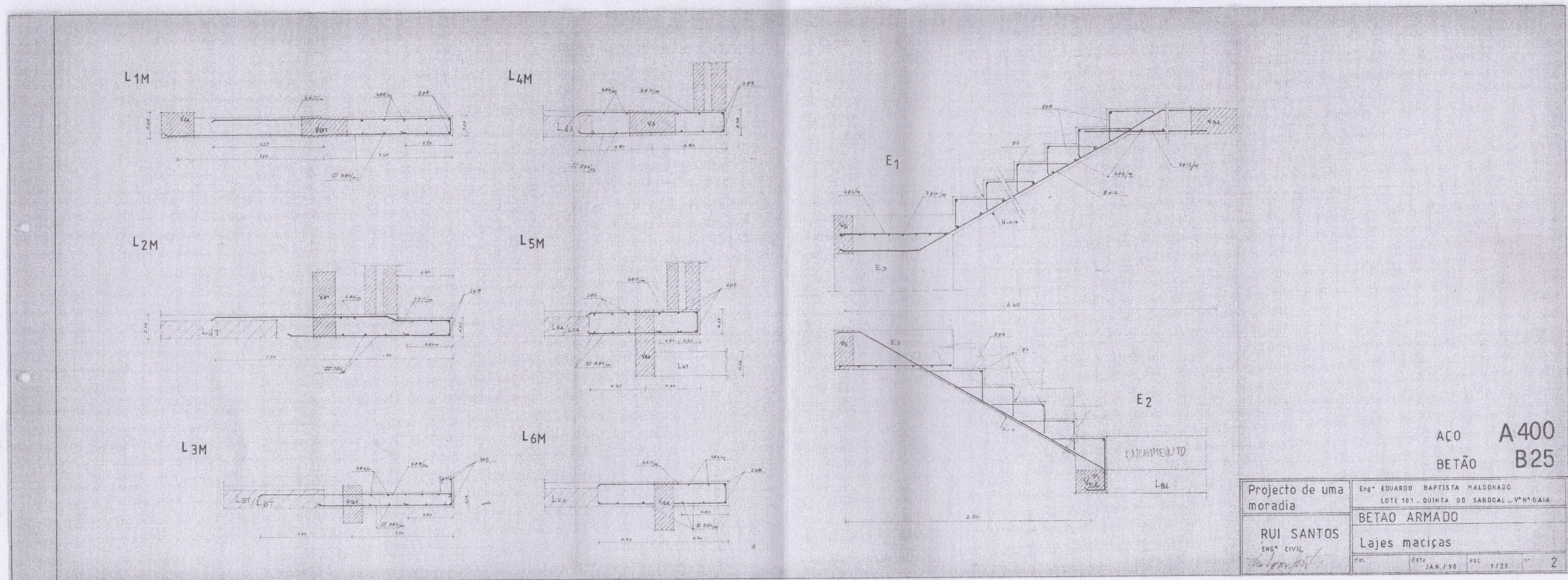


ALÇADO PRINCIPAL

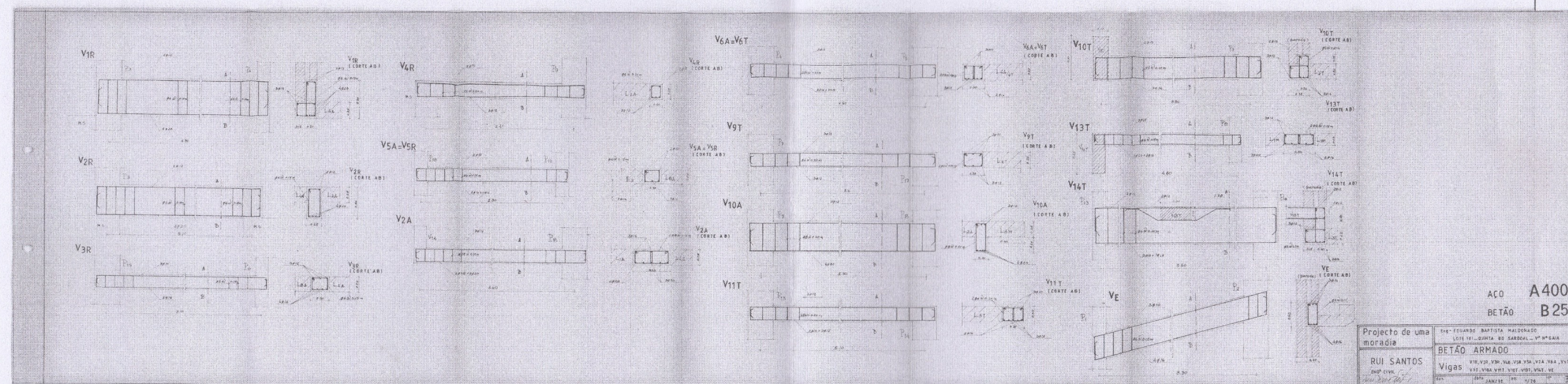
CAPPA ARQUITECTURA E PLANEJAMENTO Eng. Eduardo Baptista Maldonado CRP 10.000	ENG. EDUARDO BAPTISTA MALDONADO	DATA: JUL/89
	HABITACÃO UNIFAMILIAR	REA: 86/89
	PROJECTO DE ARQUITECTURA	DES. Nº 04
	ALÇADOS	ESCALA: 1/100 1/50
DES. <i>[assinatura]</i>	PROJ. <i>[assinatura]</i>	DES. <i>[assinatura]</i>
		QUESTIONS: CONSULTOR: PMA



Projecto de uma moradia	Eng. EDUARDO BAPTISTA MALDONADO			
	LOTE 101 - QUARTA DO SARDAL - 1ª N.ª GAIA			
RUI SANTOS	PROJECTO DE ESTRUTURAS			
	-Plantas estruturais			
	-Lajes aligeiradas			
	DATA	DATA	DATA	DATA
	JAN 7 90	1/100		1



[Handwritten signature]



ENTREVISTA

Transcrição de excertos da conversa/entrevista com o Prof. Dr. Eng.º Eduardo Maldonado

Depois de cumprimentos e de uma introdução sobre a dissertação começamos uma entrevista que foi mais uma conversa.

MM: Estava a falar da questão da inércia e nós, da maneira que estamos a trabalhar, em termos da legislação atual, estamos a utilizar um parâmetro que não é linear, não, não é nada linear, e você como esteve envolvido na base do RCCTE...

EM: Eu só estive envolvido no princípio, na primeira revisão, em 2006, depois entre 2006 a 2013 ainda andei por lá, a partir de 2013, a partir daí, não tem nada a ver comigo.

MM: Ainda me lembro de trabalhar com aquele manual de apoio à aplicação do RCCTE, portanto o seu nome constava lá também tanto como coautor como revisor.

EM: Enquanto não mudou de nome de RCCTE ainda foi comigo, quando mudou de nome já não foi.

EM: Mas a inércia sim é um parâmetro muito difícil de quantificar.

MM: E continua a ser.

EM: E continua a ser. Mas de qualquer forma, um dos princípios básicos destes conceitos, a energia passiva, é que a casa tem que ter inércia, caso contrário aquilo que considerou como calor que está lá fora... Eu tenho agora as janelas abertas, agora apesar de tudo, normalmente nesta altura do ano já não costumo ter ou melhor costumo ter para fazer a ventilação à noite ... Eu estava a falar aqui para nós, o conceito de inércia é fundamental, portanto temos que perceber é evidente que massa significa carvão...

MM: Sim quanto mais pesado mais inércia

EM: Tem de se arranjar maneira de substituir materiais de baixo carvão e que tenham muita inercia, porque a prática que agora anda para aí de vender casas de madeira em Portugal não funciona.

MM: E não é só casas de madeira, mas todo o processo de construção que agora está tudo com materiais leves, temos a questão dos LST e todos os revestimentos interiores. A prática de hoje em dia...

EM: Tudo que é pladur não tem inércia.

MM: É aí estamos a perder uma das grandes vantagens que tínhamos na nossa construção tradicional;

EM: Pois é, metem o ar condicionado e fica toda agente satisfeita.

MM: Pois mas esse não deveria ser...

EM: Mas é isso que está a acontecer. E incentivados pelo governo.

MM: Exatamente. Isso é uma das conclusões é que eu tenho chegado, no tempo que tenho trabalhado com isto que é a questão do peso que é dada a eficiência dos equipamentos de climatização faz com que as soluções apontem todas para isso, são mais simples de executar, não dão tanto trabalho e encaminhamos tudo para isso.

EM: Se for ver ao ver aos incentivos, as candidaturas um terço é para fotovoltaicos, um terço é para bombas de calor, ou seja, ar-condicionado, e só um terço é que é para janelas.

MM: E com valores muito baixos. Sim tem a questão do isolamento das coberturas, mesmo isso é muito pouco, o incentivo é um valor muito baixo.

EM: O valor é muito residual e as pessoas não estão a aderir, ninguém quer.

...

MM: Exatamente! A questão, vamos começar pelo princípio. Como surgiu... a casa ser passiva?

EM: É uma decisão pessoal, eu acreditava no conceito, íamos ter uma casa e obviamente vamos trabalhar para fazer.

MM: Porque já estava a trabalhar na área.

EM: Aliás já tínhamos construído a casa térmica otimizada.

MM: Exatamente, essa casa térmica muito otimizada vai ser um assunto que vamos falar, mais à frente. Tenho aqui uma situação muito especial. Portanto,

advém do seu trabalho na área. Eu lembro-me que há um artigozinho que eu encontrei no repositório, do Helder Gonçalves, é uma paginazinha, sobre sistemas passivos, sobre a utilização de sistemas passivos e isso é anterior à construção da casa. Portanto, a questão da relação com o projeto em si, não foi da parte do projetista.

EM: Não, foi o cliente e não o projetista.

MM: Exatamente, eu percebo isso porque, como disse já tinha dito, já tinha consultado o...

EM: O projetista também já estava convencido em relação a isso, se não ia dar mal resultado. Existiu um casamento entre o cliente e a arquiteta.

Na prática, o objetivo era pronto, construir uma casa, ligeiramente mais cara do que poderia ter na altura, mas a diferença foi muito pequena, mas que me mantivesse confortável sem a ter necessidade de ar-condicionado, nunca pus aqui ar condicionado. Está a ver a temperatura que está lá fora, estamos confortáveis.

MM: Sim, e cá dentro estamos confortáveis.

EM: Exatamente não está propriamente frio, está confortável, esta casa nunca ficou aqui mais quente que isto, isto é o máximo e no Inverno conseguir aquecer a casa com custos relativamente reduzidos.

MM: Maximizar os ganhos e diminuir ao máximo as perdas.

EM: Sem perda de conforto.

MM: Portanto depois em termos das características construtivas também já foi você que...

EM: Sim, as soluções na altura primeiro apontamos as soluções que estavam no regulamento, no RCCTE, já com isolamento, parede dupla, estrutura de betão, paredes duplas de 11 e 15, com 3 centímetros de isolamento lá no meio, mas isso provocou-me fortes problemas com pontes térmicas.

MM: Por acaso tinha lá um pormenor no processo, de tratamento das pontes térmicas...

EM: Mas as pontes térmicas, não funcionavam bem. Houve problemas logo no fim do primeiro inverno e eu, portanto rapidamente mandei pôr Isolamento a toda a volta, o que também foi uma novidade na altura, havia muita pouca gente a usar isso.

Já havia, não foi a primeira casa a fazer isso, mas não era muito comum. E olhe, durou até há 2 anos, sem problemas, só há dois anos é que comecei a ter problemas. Portanto, a idade também conta para os acabamentos, houve uma zona que teve de ser substituída. Mas de resto, a maior parte da casa continua a ser original porque de cerca de 8 em 8 anos, vou fazendo uma revisão à casa....

MM: Uma revisão da pintura.

EM: Pintura, mas não só pintura, eles vão reforçando os cantos com aquela, agora a tecnologia vai mudar, depois vem com coisas de metal, depois vêm com umas redes, essas coisas todas... Portanto vamos evoluindo com a tecnologia, mas de qualquer maneira sim, o que eu faço é aquilo que é recomendável para manter a casa em condições, agora a maioria das pessoas deixa as suas casas cair podre e não faz nada...

MM: Sim, a questão da manutenção, pensa-se como um carro, portanto se não fizer revisão, mais dia menos dia dá o berro...

EM: Portanto prefiro gastar mais um bocadinho, quando já vejo a casa mais feia, portanto tem sido mais ou menos de 8 em 8 anos, na prática, três grandes intervenções, pelo exterior só, o interior é que não.

MM: Estamos sempre a falar de obras de conservação e não de reparação...

EM: Sim, sim....

...

MM: Pois eu estou a falar disto porque como na memória descritiva não tinha nada e precisava porque um dos objetivos era fazer, ou pelo menos tentar fazer o cálculo do desempenho, como estava projetada, não é possivelmente como está agora.

EM: A única diferença entre o projetado, há uma alteração no projeto da Câmara daquele acesso à cobertura que está diferente, pois a solução implementada não foi a que está no projeto. Foi uma alteração que foi feita, nós não gostamos da solução da arquiteta e depois fizemos uma alteração.

MM: Na obra.

EM: Mas, portanto, de resto é mais ou menos o que está no projeto, tivemos de baixar o pavimento deste quarto e... porque ela chamou-lhe escritório, o quarto que está aqui, chamou-lhe escritório e porque tinha de ser escritório tinha 2 metros e 70 cm de pé direito e, portanto, teve de ser rebaixado que significou três degraus que não estavam previstos. Portanto há alterações ao projeto. Estamos a falar deste quarto aqui, este aqui. A câmara obrigou a rebaixar, mas isso já está aqui... Ao início, no projeto inicial não tinha era suposto ser plano prevendo a hipótese, até agora ainda não aconteceu, mas prevendo a hipótese de um dia uma pessoa partir uma perna e usar o quarto ao nível do rés do chão, ao meter os 3 degraus estragou tudo.

MM: Exatamente a função deixou de ser a mesma.

EM: Exatamente.

MM: Mas pronto, como eu estava a dizer, eu consultei esses mapas para tentar obter alguma informação sobre a construção em si, do ponto de vista do material...

EM: Mas por exemplo, isto aqui está diferente, não é. Isto está diferente porque.... Você está no quarto, tem aqui a sala e a cozinha, isto aqui não está assim...A cozinha passou a ter aquilo tudo, portanto isto aqui é retangular.

MM: Exatamente, um espaço com mais aproveitamento...

EM: A cozinha aumentou substancialmente e este canto aqui passou a dispensa, portanto aqui foi feita uma dispensa... Na prática roubou aqui um bocadinho e ganhou naquele lado. Portanto há alterações, mas isto são as tais alterações que se fazem...

MM: Durante a execução. Então, uma coisa que me chamou à atenção foram as paredes exteriores com lâ de vidro, era o que estava lá escrito.

EM: Mas não é lã de vidro, foi logo com poliestireno, foi com *roofmate*, o equivalente a *roofmate*, polistireno daquele azul, não é, azul com 3 centímetros de alta densidade.

MM: Eu achei estranho ser lã de vidro...

EM: Mas não foi lã de vidro.

MM: Lã de vidro tinha logo o problema do assentamento...

EM: O único sítio onde eu deixei pôr lã de vidro foi na cobertura do sótão.

MM: Por cima...

EM: E ainda tenho.

MM: Pois isso não referia. Tinha aqui as lajes de teto com EPS de 4.

EM: Não, isso tem é outra coisa, tem a separação entre o desvão da cobertura do teto de cima, tem efetivamente, está isolado com lã de rocha. Na altura eram 3 ou 4 centímetros de isolamento, agora está com perto de 10.

MM: Por cima do teto, no piso do desvão.

EM: No chão do desvão.

MM: Sim porque temos de fazer.... Pois tinha essa solução e depois aparecia-me lá umas paredes que me parecia um bocado estranho, pronto, como havia aquilo que você chamava de brincadeira de parede de *trombe*, aparecia-me uma parede com tijolo de 7 e betão armado, o betão armado não estava especificado...

EM: Uma coisa que pode fazer crítica é que não há duas janelas iguais. Penso que há duas janelas iguais, estas duas aqui. De resto, cada vidro foi feito à medida. Se fosse hoje... Não tem nada a ver com o conceito de hoje de construção *standard*. Se eu quiser colocar aqui janelas de classe A+, daquelas que se compram no supermercado eu não consigo, não tem dimensões.

MM: Têm de ser feitas por encomenda.

EM: Têm de ser feitas por encomenda, normalmente essas feitas por encomenda tem um preço que já não é comportável...

MM: Eu tenho visto, não é mudar a caixilharia das...

EM: Tinha de mudar tudo, a caixilharia de todas, fazer a caixilharia de tudo isto...

MM: E mesmo quando é *standard*, nem por isso é a solução, com maior custo.

EM: Sim, mas agora à medida que os vidros foram, porque os vidros duplos são baixo emissivos. Começam a ter condensações, quando esses começam a fazer eu substituo o vidro, lá está, fazer um vidro à medida, etc. e assim os vidros são substituídos por baixa emissividade, mas são só dois, não se nota.

MM: Então tenho uma pergunta sobre isso, que é,

EM: Depois posso lhe mostrar, que o vidro da porta do meu gabinete já está a começar a ganhar aquele, as condensações, algum destes dias vou ter de o substituir.

MM: A questão tem a ver, como estava a dizer agora, mas não só, tem a ver com estes princípios que estamos aqui tentar maximizar, que é, falou-me do vidro de baixa emissividade, isso depois em termos de aproveitamento, por causa dos ganhos, vamos também ter uma redução...

EM: Não é muito grande... Se fizer as contas os vidros de baixa emissividade, praticamente não cortam praticamente nada. A redução é muito pequena.

EM: Repare, isto corta muito bem...

MM: A cortina.

EM: E eu, às vezes naqueles dias frios de inverno em que está sol, uma pessoa abre e Tudo isso é teoria, sabe. É como a parede de *trombe*, a parede de *trombe* é só duas vezes por ano. Agora quando vier o inverno, para já ainda não está com este calor, a parede de *trombe* em ação. Mas quando vier o frio, puxar o estore para cima, depois no verão quando vier a primavera, volto a puxar para baixo e descobrir aquilo. Mas já houve anos que não fiz.

MM: Mas não fez porque achou que não era necessário?

EM: Ah, esqueci-me, não me lembrei, é o cansaço.

MM: E também porque não houve necessidade é isso?

EM: Não havia necessidade, não. Aquilo tem um efeito muito pequeno. Ainda para mais a minha mulher resolveu que precisava de um armário no quarto.

MM: Portanto já perdeu o efeito de...

EM: Quer dizer ela fica com a roupa quente.

MM: Sim, mas o aquecimento... Isso também é uma questão que agora nem sequer temos que é, nós não conseguimos, ou melhor, não está formatado, nem sequer está pensado nisso, nós fazemos o uso de soluções desse tipo.

EM: Muito poucas. Há meia dúzia de casas em Portugal que têm paredes de *trombe*.

MM: Mas também porque não há incentivo.

EM: Sim, mas também se quiser que lhe diga, não acho que seja tão crítico. Primeiro é uma solução cara, tem de pôr o vidro por fora, fica sempre caro a caixilharia, etc.

MM: Então na sua opinião...

EM: Passamos bem sem paredes de *trombe*.

MM: Seria de apostar então em paredes com mais massa, para termos uma massa interna.

EM: Sim, massa interna. Estas paredes a lareira está aqui no meio, isto é tudo maciço.

MM: Temos aqui uma massa...

EM: Isto é tudo mesmo maciço. Lá e, baixo, na cave, no verão varia menos de meio grau por dia, no inverno é dois décimos de grau durante um mês. É ótimo para conservar calor.

MM: Está sempre à temperatura certa.

EM: Pode estar um bocadinho mais frio do que o que devia, mas isso depois aquecesse-se.

MM: Portanto, deduzo então que há a percepção de que ela funciona, não é? Tem algum efeito...

EM: Funciona perfeitamente, num dia, se eu abrir aquilo num dia de céu limpo, eu ponho a mão ao fim da tarde e a parede está quente. Para efeito, o balanço global da casa...

MM: Isso por causa da área. Mas de qualquer das formas o que me está a sugerir é que o uso da solução em si, não terá grandes vantagens, em função do...

EM: Não terá grandes vantagens, acho que é uma solução demasiado complicada.

MM: Sim, tanto do ponto de vista do seu dimensionamento...

EM: E do ponto de vista execução.

MM: Mas existem algumas, daquelas soluções que temos mais, temos essa, temos a questão das estufas...

EM: Sim, as estufas têm o grande problema de verão aqui em Portugal. Na prática as pessoas transformaram o conceito da estufa, por exemplo as varandas que são fechadas, as marquises. Só que a marquise tanto se faz a norte, como a sul, como a nascente como a poente.

MM: Pois, e não tem o mesmo efeito.

EM: Antes pelo contrário, até provoca piores efeitos.

MM: Portanto esse tipo de solução não... tiramos grandes vantagens.

EM: Não tiramos grande vantagens.

MM: Portanto seria então, porque eu também tinha aqui essa nota, a questão das características. Foi também por causa de procurar a eficiência, em função da função que tínhamos, não é, ou também tinha a ver com a construção tradicional, ou melhor, juntou as duas coisas, tentou tirar o melhor do que havia...

EM: Juntei as duas coisas. Foi tentar experimentar com o regulamento, para ver se o regulamento estava bem feito, a cobaia do próprio regulamento. Verifiquei logo que estava mal, porque não fui eu que fiz as soluções construtivas, as soluções construtivas foram engenheiros civis. E eu quis ver, vamos lá construir para quê, porque havia uns que diziam que sim, havia outros, por exemplo o Vasco Freitas sempre dizia que havia problemas e efetivamente viu-se que aquilo não funcionava e, portanto... mostrei-lhes isso. Agora o regulamento não continua a exigir isso, porque não havia consenso...

MM: A não exigir?

EM: A exigir isolamento. A correção das pontes térmicas só surgiu 10 anos mais tarde.

MM: Ah, sim! Agora...

EM: Agora é obrigatório. Mas só surgiu essa obrigação 15 anos mais tarde.

MM: Sim, porque até ali havia conceito do fator de...

EM: De concentração de perdas.

MM: É isso mesmo.

EM: Mas repare o problema é que as pessoas protestavam, porque é que foi feito esse fator significativo, para evitar que as pessoas perdessem muito tempo, se obrigássemos as pessoas a fazer as contas caso a caso como agora é obrigatório, as pessoas protestavam. Os projetistas protestavam.

MM: Nos existentes ainda se continua a fazer esse sistema, não se faz as contas, não é.

EM: Sim, claro, exato! Mas também ao preço que levam pelos certificados não podem perder muito tempo.

...

MM: Então, podemos concluir, porque eu estava aqui com a história da parede de *trombe*, foi uma das opções para escolher.

EM: A parede de *trombe* foi uma...

MM: Uma brincadeira, um ensaio, portanto uma experiência. Verificou-se que funciona, mas...

EM: Sim, mas isso eu já sabia que funcionava, da casa otimizada sabia perfeitamente que funcionava.

MM: A primeira vez que eu tive contacto com a casa até foi com o Luís Bragança, deve conhecer... foi meu professor... E foi ele que me mostrou isso, deu-me as bases do curso, da parte da... Eu lembro me que era com umas colunas de água.

EM: Também tem colunas de ar, é outro sistema. Tem colunas de ar. E atenção que funcionam também. Tem uma inércia enorme

MM: Chamou-me à atenção a questão das colunas de água. Então a questão de nós fazermos o... já não é com essas soluções que são mais direcionadas, mas o facto de querermos fazer uma casa mais passiva vai então, na sua opinião, no aproveitamento da inércia e aproveitamento dos ganhos solares.

EM: E com o cuidado de evitar que no verão entre sol.

Mm: Que é essa questão de... ou as palas ou então...

EM: Aqui é palas.

MM: Sim, e em relação a isso...

EM: Aqui não entra o sol no verão. Agora já entra, já estamos na meia estação. Nunca se pensa que nesta altura...

MM: Vai estar o calor que está...

EM: Mas atenção, muitas vezes a carga térmica de arrefecimento é máxima exatamente em maio e outubro, por causa da entrada de sol. Mesmo nos edifícios de serviços, conforme a orientação, então orientações Nascente e Poente, normalmente a carga térmica máxima é em maio, nunca é em julho ou agosto, é sempre em maio, já vi alguns casos que é em outubro.

MM: Estava a falar-me da questão da pala, é mais eficiente, na sua perceção que estores?

EM: Preguiça.

MM: Por causa do estore?

EM: Sim, porque o estore tenho que ir lá todos os dias, aquilo ali é automático. Não entra mesmo, o sol não entra.

MM: Porque a perceção que eu tenho é que o estore nos permite as duas situações, maximizar os ganhos no inverno e reduzir no verão.

EM: E sim, aqui também nos permite, porque a pala está dimensionada para isso, no inverno o sol entra por aqui adentro e no verão não entra.

MM: Sim, mas comparando uma solução com a outra qual é aquela que considerava mais eficaz?

EM: Acho que devíamos ter sempre as palas, pode complementar com o estore, mas a pala tem que lá estar sempre.

MM: É? Termos sempre um sombreamento permanente.

EM: Sim, porque assim é uma casa à prova de tudo.

MM: Por esse fator, principalmente esse fator que é a questão... de não ser automática, enquanto não tivermos as casas que trabalham sozinhas...

EM: As pessoas não ligam, até eu que sou um fanático destas coisas, às vezes não faço. Mas repare, eu conheço imensas pessoas desse mundo que faziam casas solares passivas e viviam em casa solares passivas e diziam que faziam isso 2 ou 3 anos e depois esqueciam, as pessoas ao fim de 2 ou 3 anos... Se falar com aquela arquiteta de lisboa, como é que ela se chama...

MM: Tirone.

EM: A Olivia Tirone, também fez uma casa solar passiva e ao fim de 2 ou 3 anos de uso, já está com ar condicionado em casa,

MM: Então porque é que estamos com estas coisas?

EM: É porque as casas têm de ser feitas, lá está, se forem feitas como esta foi feita, não precisam de ar condicionado, porque tem exatamente as palas, tem essas massas, tem essas coisas todas, é à prova da preguiça.

MM: Esse era o meu grande objetivo...

EM: Esta casa funciona, não precisa de manual de instruções.

MM: Ok, nesse aspeto. Daí a escolha das palas. Um dos meus grandes objetivos, quando estava a pegar neste trabalho...

EM: E vamos lá ver, qual é o custo da pala? Claro que isso tem um custo.

MM: Sim, mas relativo ao resto da construção...

EM: é mais barato que um estore.

MM: E relativo ao resto da construção é um acréscimo diminuto.

EM: E não é feio, se for bem enquadrado pela arquitetura não é feio.

MM: Pois. A questão é essa, porque estamos em arquitetura.

EM: Pronto, a função do arquiteto é essa.

MM: Exatamente, esse era o meu objetivo.

EM: Aliás há uma história, se quiser pôr lá, não sei se ela tem lá nas memórias dela, quando contratamos, um dia disse, agora quero ter uma conversa com vocês os dois. Que tipo de casa é que querem? E eu disse-lhe, eu sou engenheiro, se fosse fazer uma casa era quadrada, ou retangular, e ela fez esta, você não tem aqui um ângulo reto.

MM: Foi por causa disso.

EM: Foi. A casa nasceu com isso e com uma outra condição que é esta, que eu lhe mostro já, que a minha mulher queria pôr esta mobília, que é antiga, de família, na sala de jantar.

EM: Os condicionantes aqui nesta casa foram dois, eu não queria uma casa retangular e, além disso tínhamos de ter um espaço para ter aquela sala de jantar com aquela mobília que era de estimação, que se usa, uma vez por ano.

...

EM: Olhe, mas isso não tem nada a ver com a casa. Agora, se quiser ver como é que esta casa nasceu, nasceu exatamente nessa conversa, daquela exigência de espaço para ... Porque se vir projetos da Fernanda Seixas, tendem a ser um bocado mais pequenos do que esta casa. Esta se calhar é um dos maiores, estou a dizer de residências, é do maior que ela fez, também vi a casa dela, a cozinha, uma pessoa quase que não se conseguia mexer. Ela era muito poupadinha, até foi poupadinha de mais na garagem, que me devia ter posto mais meio metro e não pôs. Era muito mais fácil para mim ter mais meio metro, também não custava nada e já podia ter feito, já podia ter mandado botar a parede abaixo e fazer mais meio metro para a frente, mas agora não faço porque me dá muito trabalho. Mas de qualquer forma, os carros cabem de qualquer maneira, portanto ... sou eu que os meto e a minha mulher também consegue, o pequenino, o grande, só eu é que meto. Mas de qualquer forma ela tendia a fazer as coisas muito mais concentradas e aqui, nós obrigamo-la a fazer maior, portanto esta casa, no estilo dela deve ser única.

MM: Pois, eu por acaso não tenho impressos os planos, tenho outro caso de estudo que é a casa que ela projetou na foz.

EM: Eu estive lá.

MM: Essa tem a estufa, tem uma parede de *trombe* também, depois também vou ter uma conversa com a senhora a ver se ela tem a mesma percepção. Você teve alguma influência naquela?

EM: Não. Conversamos, trocamos umas impressões.

MM: Já foi depois dela...

EM: Conversávamos... Nós encontrávamo-nos regularmente e portanto...

MM: Pediu-lhe opiniões sobre aquele projeto.

EM: Sim, conversas deste tipo. Agora, realmente nós temos se calhar mal, esta casa deveria ter metade do tamanho, para duas pessoas até é grande, tenho plena consciência que isto é grande demais para duas pessoas, mas... foi uma encomenda. E, portanto, ela tentou inclusive que não ficasse ali na sala, que ficasse o móvel fora ou noutra sítio e não sei que mais e a minha mulher foi absolutamente renitente e, portanto, a partir daquele tamanho daquela sala teve que a casa crescer e, portanto, cresceu... E eu também queria uma sala grande, acho que é agradável uma pessoa estar aqui e também queria com desníveis.

MM: Com desnível... que também já era uma característica do terreno, pelo menos ela refere isso.

EM: É, é uma característica do terreno. Queria que aproveitasse o desnível, escusava de estar a cavar, e fazia... Mas sempre gostei de ter assim uns desníveis, agora vamos lá ver, daqui a 10 anos pode ser que me arrependa. Se tiver problemas de mobilidade

MM: Sim, a questão, hoje em dia...

EM: Mas atenção que a casa está preparada para... aqui para...

MM: Meter elevador?

EM: Sim, porta de entrada cabe um elevador por ali acima, posso fazer uma...posso pôr um elevador ali, subir ali para o andar de cima e se quiser viver aqui em baixo, aquela porta transformasse na porta principal...

MM: Fica ao nível da entrada?

EM: Sim, aqui nesta rampa...

MM: Sim, porque é rampa... Para não ter degraus.

EM: Entrando por cima, venho para aqui sem nenhuma dificuldade. Tinha que pôr aqui uma cama, pronto passava aqui a ser o quarto. Mas, portanto, a casa está pensada para essas contingências também, e foi tudo pensado com ela, discutir onde havíamos de pôr, tenho de tirar a pala obviamente, para fazer o elevador tenho de tirar a pala que está por cima da entrada para proteger... claro, obviamente que tenho de tirar essa pala. Mas essa pala é meramente para conforto... mas, portanto, tenho de tirar a pala e ali dá para meter um elevador ou então meter um daqueles elevadores que sobe pelas escadas, aqueles...

MM: Sim, é uma cadeirinha... Uma plataforma elevatória.

EM: Eu por acaso não gosto muito, mas ficava mais barato...

MM: A gente quando consulta o processo não tem perceção de todas estas...

EM: Mas tudo isso está pensado, não está escrito...

MM: Pois, não está escrito em lugar nenhum, nas memórias descritivas não tem... em termos de pormenores...

EM: Mas tudo isso foi pensado. Os raios foram pensados para permitir, posso pôr a plataforma elevatória, aquilo foi pensado para se puder meter elevador. Pronto... é o que dá...

...

MM: Em termos de pavimentos e coberturas, aqui temos um desvão sanitário?

EM: Não...é sobre o solo.

MM: É sobre o solo?

EM: Por isso é que em relação ao regulamento atual é penalizado, porque não tem isolamento, o isolamento vai até ao fundo da parede, mas para ali, não vai mais para lá...

MM: Porque o pormenor que eu tinha visto, fazia uma correção com uma capa de tijolo 7, era o que estava no...

EM: Sim, está bem, mas não é isolamento...

MM: Não é isolamento, mas depois foi feita essa...

EM: Sim, sim...

MM: Porque era uma das coisas preconizada no regulamento de 1990, que era...

EM: Isso era, mas depois foi tudo recoberto com isolamento, onde está tijolo 7, onde está essa cobertura, sim, por isso é que, se for ver por fora, tem o ressalto....

MM: Por acaso tinha lá um esboço...

EM: Pois, mas agora não, tem o ressalto, vem o isolamento por aqui e depois vem o ressalto. Portanto está tudo coberto, mesmo a ponte térmica tratada está coberta com isolamento.

MM: Sim, eu lembro-me de ver ali na garagem, tinha o ressalto... As lajes são em betão?

EM: São, exceto esta, esta é um enrocamento...

MM: Eu tenho cópia do ...

EM: Isso não se alterou, o projeto de estrutura não se alterou. Aliás, isso foi uma coisa que eu não deixei alterar, tentaram alterar e eu não deixei.

MM: Como estávamos a falar há bocado de fazer o mais correto possível, tenho de procurar fazer o mais correto possível.

EM: Sim, sim, mas isso, a solução das lajes está correta.

MM: Por isso tive o cuidado de trazer o projeto de estruturas, portanto à partida, mesmo em termos de dimensões das lajes.

EM: Sim, pode usar isso porque isso perfeitamente eu fiz questão de não deixar mexer.

MM: Mesmo para as pontes térmicas planas temos aqui a informação, portanto à partida foram cumpridas as dimensões.

EM: Sim, tudo, tudo.

MM: Não temos tetos falsos, pois não?

EM: Teto falso é proibido aqui.

MM: Portanto posso usar..

EM: A única alteração que temos é que o teto foi pintado outra vez, mas isso não conta. Não, não, isto está tudo tal e qual como estava, sem alteração nenhuma.

MM: A cobertura...

EM: A cobertura foi a única coisa que foi alterada.

MM: Falava-me em *roofmate* de 3, eu tinha aqui umas soluções...

EM: Vamos lá cima à cobertura ver isso, é mais fácil ver do que estar...

EM: Portanto isto é calha com isolamento na laje horizontal.

MM: Estava previsto...

EM: Isto está a ser feito, porque nunca tive infiltrações por baixo, mas tenho infiltrações para aqui, portanto a tela tem de ser substituída.

MM: É aí é que tem aquele pormenor...

EM: Sim, sim, mas fizeram a mesma solução, que era tela, continua a ter a tela.... A alteração que não está em projeto, é nas escadas, porque elas subiam assim e agora não está, está exatamente ao contrário.

MM: Estão deste lado.

....

MM: Pois, tenho uma questão, como não tem caixas de estore, também não sobre desse efeito.

EM: Não, não tenho caixas de estore, isso é uma das coisas que eu não quero ter, caixas de estore. As janelas são a Norte

MM: Mas estão reduzidas ao mínimo...

EM: Só para ter luz.

MM: As portadas interiores em madeira, mas aí tem estore...

EM: Aqui tem porque eu não tinha hipótese de colocar a pala, aqui ficava feio, esteticamente e, portanto, o compromisso aqui foi... e estas aqui são manuais...

MM: Nem sequer é com fita, é de empurrar.

EM: Eu chego aqui..

MM: E tem de empurrar...

EM: E subo esta...agora no verão, normalmente estão em baixo, no inverno abro aqui mais um bocadinho, este está com um fecho magnífico.

MM: E então a questão das portadas já está desde o início, aqui foi uma opção, a portada interior...

EM: Sim, e em madeira. Estas portas são originais.

MM: Madeira maciça, nem sequer é...

EM: É madeira maciça. Pintadas de branco.

MM: Para diminuir a absorção.

EM: Para diminuir a absorção. Isto aqui, neste momento está a servir de arrumos, vem tudo para ali.

...

MM: Portanto aqui também.

EM: É igual, a solução aqui é exatamente igual, exatamente igual. E é portada ... As janelas, essas janelas não estão a 45°, não tem portada só tem cortina.

MM: Pois... sim, para estar a ... Elas também têm uma dimensão pequena, não é? E a orientação delas também é mais favorável.

MM: A questão, desta abertura, ou melhor, da orientação destas janelas...

EM: Foi para não ser a Norte e para dar privacidade também e portanto para iluminar, uma de manhã e outra à tarde. O sol entra aqui no verão, num deles, portanto aqui entra de tarde e ali entra de manhã.

MM: Certo, porque elas estão precisamente ao contrário.

EM: No Inverno não entra, quer dizer pode só entra a luz solar.

MM: É um pormenor interessante. São aquelas pequeninas coisas...

...

MM: E é aglomerado de cortiça, tal como estava no projeto, neste caso.

EM: Pronto, onde é que eu tinha o erro do projeto inicial, isto não estava, este triângulo aqui não estava isolado. Isto está isolado agora só para estar tudo igual, isto não faz sentido estar isolado.

MM: Isolar a garagem...

EM: Nem sequer é a garagem, isto é exterior.

MM: Pois. esta parte é exterior, exatamente.

EM: Esta parte é meramente... mas aqui é o chão da lavandaria, isto não estava isolado, porque só tinha isolamento aqui e não nesta ponte térmica, não é. Portanto isto não estava isolado, resultado....

Fazia um lago de água, condensava água lá em cima.

...

MM: Mas temos aqui uma massa muito grande exposta.

EM: Sim, e, portanto, aqui isto aqui, ainda para mais é a lavandaria que tem sempre alguma humidade, isto formava-me água no chão da lavandaria e portanto foi outra solução que ao fim de 1 ano, isto foi tudo isolado e nunca mais tive problemas.

...

...

EM: Acho que você já tem aí material para se entreter.

QUADROS E TABELAS

Tabela 5 - Algumas propriedades de materiais mais utilizados no fabrico das caixilharias. Adaptado de (Marcos 2013)

PROPRIEDADES/ CARACTERÍSTICAS	MADEIRA	ALUMÍNIO	PVC
Módulo de elasticidade, E (GPa)	10	70	2
Densidade (kg/m ³)	200-870	2700	1390
Condutibilidade Térmica, λ [W/(m.°C)]	0,06 – 0,29	230	0,17
Condutibilidade Elétrica	Fraco condutor	Excelente condutor	Fraco condutor
Coefficiente de dilatação térmica linear (/°C)	$\approx 4 \times 10^{-6}$	23×10^{-6}	70×10^{-6}
Combustibilidade	Combustível.	Não combustível	Combustível

Tabela 6 - Características do vidro. Adaptado de (Marcos 2013)

Transmissão luminosa t_n	É a percentagem do fluxo luminoso transmitido diretamente através do vidro
Reflexão luminosa r_n	É a percentagem da luz visível, com origem na radiação solar, refletida pelo vidro;
Transmissão de ultravioletas t_{uv}	Percentagem do fluxo de raios UV (ultravioleta) transmitidos diretamente através do vidro.
Transmissão energética t_e	É a percentagem do fluxo de energia solar transmitida diretamente através do vidro;
Absorção energética a_e	É a percentagem de energia absorvida pelo vidro que provoca o seu aquecimento. Esta grandeza permite determinar os riscos de rotura por choque térmico e avaliar a necessidade de temperar o vidro
Reflexão energética $r_{e\ ext} ; r_{e\ int}$	É a percentagem da energia, com origem no conjunto das radiações solares, refletida pelo vidro para o exterior e interior
O Factor Solar	É a parcela total de energia solar que atravessa o vidro, directamente e de forma indireta por convecção e radiação de parte da energia absorvida pelo vidro.
Coeficiente de transmissão térmica U_g	Transferência de calor por condução radiação e convecção entre as duas faces do vidro.

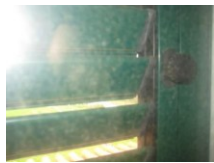
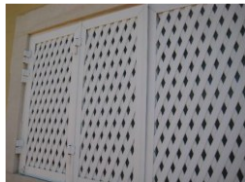
Proteções solares exteriores	
Tipo	Exemplo
Persianas de réguas metálicas	
Persianas de réguas plásticas	
Portada de lâminas fixas	
Estore veneziano	
Portada opaca (lâminas reguláveis)	
Portada de lâminas fixas	
Estore Lona opaca	

Tabela 7 - Proteções exteriores. Adaptado de (Adene 2020)

Proteções solares interiores	
Tipo	Exemplo
Persiana de madeira	
Portada de madeira	
Estores de lâminas	
Cortina transparente	

Tabela 8 - Proteções interiores. Adaptado de (Adene 2020)

Tabela 9 - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e dispositivo de proteção solar exterior. (Direção-Geral de Energia e Geologia 2021)

Dispositivo de proteção solar	Opaca	gtot, vcgtot, vc					
		Vidro Simples g⊥,vig⊥,vi = 0,85			Vidro Duplo g⊥,vig⊥,vi = 0,75		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
		Dispositivos de proteção exterior					
Estore veneziano de lâminas de madeira	Não	0,11	0,11	0,11	0,08	0,08	0,08
Estore veneziano de lâminas de metálicas	Não	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09	0,09
Lona muito transparente	Não	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Lona opaca	Não	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
Lona pouco transparente	Não	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
Persiana de réguas de madeira	Sim	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Persiana de réguas metálicas ou plásticas	Sim	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Portada de lâminas fixas	Não	0,14	0,14	0,14	0,09	0,09	0,09
Portada de lâminas reguláveis	Sim	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Portada opaca	Sim	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06

Tabela 10 - Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e dispositivo de proteção solar interior. (Direção-Geral de Energia e Geologia 2021)

Dispositivo de proteção solar	Opaca	g _{tot} , v _c g _{tot} , v _c					
		Vidro Simples g _⊥ , v _i g _⊥ , v _i = 0,85			Vidro Duplo g _⊥ , v _i g _⊥ , v _i = 0,75		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
		Dispositivos de proteção interiores					
Cortina ligeiramente transparente	Não	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Cortina muito transparente	Não	0,70	-----	-----	0,63	-----	-----
Cortina opaca	Sim	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Cortina transparente	Não	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Estore de Lâminas	Não	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Persiana	Sim	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Portada de lâminas fixas	Não	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Portada de lâminas reguláveis	Sim	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Portada opaca	Sim	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	Não	-----	-----	-----	0,28	0,34	0,40

Tabela 11 - Absortância solar. (Direção-Geral de Energia e Geologia 2021)

COR DA SUPERFÍCIE	α_{sol}
Cor claras: branco, creme, amarelo, laranja e vermelho-claro.	0,4
Cor médias: vermelho-escuro, verde-claro, azul-claro e cinzento-claro.	0,5
Cor escuras: castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro e cinzento-escuro.	0,8

Tabela 12 - Resistência térmica adicional devido ao dispositivo de proteção ativado. (Direção-Geral de Energia e Geologia 2021)

Dispositivo de proteção solar (Fluxo horizontal)		ΔR [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$]
Cortinas e lonas		0,08
Estore veneziano de lâminas		0,08
Persiana	Régua de madeira	0,16
	Régua metálica	0,12
	Régua plástica com preenchimento de isolante	0,19
	Régua plástica sem preenchimento de isolante	0,16
Portada	Régua	0,09
	Opaca de madeira (outras espessuras)	0,22
	Opaca de madeira com 25 a 30 mm de espessura	0,19
	Opaca de plástico com preenchimento de isolante	0,16
	Opaca de plástico sem preenchimento de isolante	0,12
	Opaca metálica	

Características térmicas de materiais correntes				
Material	K (W. m ⁻¹ .K ⁻¹)	ρ (kg.m ⁻³)	C (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	α (10 ⁻⁶ .K ⁻¹)
Aço carbono	60	7854	434	13.2
Aço inox	15	7900	477	
Água	0.613	997	4179	
Alumínio puro	230	2700	903	25.5
Alumínio fundido	170	2790	883	
Ar	0.0263	1.1614	1007	
Areia	0.027	1515	800	
Argila expandida solta	0.16	≤ 400		
Asfalto	0.062	2115	920	
Baquelite	1.4	1300	1465	
Barro	1.3	1460	880	
Basalto	1.6	2700-3000		5.5-8.5
Betão	1.2-24	2000-2400	840-1170	6-11
Borracha vulcanizada	0.013	1190	2010	
Brita Solta	0.7	1000-1500		
Calcário	2.4	2350-2590	810	3.5-6.0
	1.4	1840-2350		
	1.0	1480-1840		
	0.85	≤ 1480		
Chumbo puro	35	11340	129	29.4
Cimento	1.4	2300	880	
Cobre puro	400	8930	385	16.8
Constantan	23	8920	384	
Cortiça, aglomerado	0.08	250-350	170	
Cortiça, aglomerado negro	0.045	100-150		

Cortiça comprimida	0.1	500		
Estanho puro	67	7310	227	26.9
Ferro puro	80	7870	447	12.1
Gelo	0.188	920	2040	41.7
Gesso	0.35	750-1000		
	0.50	1100-1300		
Granito	2.79	2630	775	5.5-8.5
Grés	2.90	2150	745	10.5-12
Lã de rocha	0.045	20-35	670-800	
	0.040	35-180	670-800	
Lã de vidro	0.45	8-12	670-800	
	0.40	12-80	670-800	
Latão	110	8530	380	18.9
Madeira, aglomerado	0.20	850-1000	1300	
	0.058	200-250		
Madeira: pinho, carvalho, castanho, etc.	0.23	600-750		
	0.15	450-600	1380	
	0.12	300-450		
Mármore	2.80	2680	830	4-7
Papel	0.011	930	1340	
Poliestireno expandido	0.04	15-35	1550	
Poliuretano expandido	0.03	30-40	1045	
Prata pura	429	10500	235	18.8
Silex	2.6	2600-2800		
Terra	0.52	2050	1840	
Vidro	1.4	2500	750	8.97
Vidro Pyrex	1.4	2225	835	3.2
Zinco	116	7140	389	26.3

Tabela 13 - Características térmicas de materiais correntes

