



Instituto Universitário de Lisboa | ISCTE-IUL  
Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Trabalho Teórico submetido como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em  
Arquitetura

Orientadores:

José Neves, Assistente Convidado  
Paulo Tormenta Pinto, Prof. Auxiliar do ISCTE-IUL  
Prof. Doutor Vasco Moreira Rato, ISCTE-IUL

## ÍNDICE GERAL

**AGRADECIMENTOS** 4 | 5

**INTRODUÇÃO** 6 | 10

### **VERTENTE PRÁTICA**

I.a. PROJETO DE GRUPO

Workshop de arranque 15 | 27

Urbanização Portela de Sacevém 28 | 101

I.b. PROJETO INDIVIDUAL

Requalificação e Ampliação Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia 102 | 185

Bibliografia 186 | 189

Anexos 190 | 201

### **VERTENTE TEÓRICA**

Sistema Higroscópico em Madeira para Equilíbrio da Humidade no Interior dos Edifícios  
202 | 349

Bibliografia 350 | 355

## AGRADECIMENTOS

Chegando ao fim deste trabalho quero expressar meus sincero agradecimento a todas as pessoas que me apoiaram e que de alguma forma contribuíram para que fosse possível esta concretização. Deste modo agradeço:

Ao professor Vasco Rato, pelo apoio, pela disponibilidade, pelo interesse em todo o trabalho realizado;

Ao professor Paulo Tormenta Pinto e ao professor José Neves por todas as ideias partilhadas do projeto, que fizeram crescer e concretizar as minhas ideias e deram boas referências de visitas a escolas que foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto;

Ao professor Octavian Postolache do Departamento da Ciência e Tecnologias de Informática do ISCTE-iul e do Instituto da telecomunicação, pólo IUL (DCTI) e ao Engenheiro Hugo Silva, técnico de Laboratório do DCTI, pela disponibilidade em ajudar no sistema desenvolvido na componente teórica e pelo interesse no mesmo;

Aos funcionários do Arquivo Municipal de Loures, nomeadamente à senhora Dora Marques;

À DGESTE, nomeadamente à arquiteta Otilia Santos que facultou os modelos tipo das escolas desenvolvidas da mesma forma que a Escola E.B. 2, 3 ciclos Gaspar Correia;

Às funcionárias das escolas que visitei, nomeadamente as da Escola E.B. 2, 3 ciclos Gaspar Correia, que me acompanhou nas visitas e disponibilizou plantas antigas da escola;

A todos os docentes do curso da Universidade dos Açores e do ISCTE, dos quais não poderei deixar de referir o professor Kol de Carvalho, o professor Sérgio Fazenda Rodrigues e o professor Pedro Botelho, que contribuíram muito para o meu pensamento arquitetónico e que quando estou a desenvolver um projeto lembro-me de muitas das suas palavras.

Por fim agradeço às pessoas mais próximas que todos os dias contribuíram para que estes cinco anos de curso fossem possíveis. Assim sendo agradeço a todas as pessoas, a toda a equipa da parte administrativa e todas as técnicas da Instituição Irmandade Nossa Senhora do Livramento que me aconselharam, apoiaram e deram-me oportunidade para seguir o meu sonho de tirar este curso. Nesta instituição agradeço a todas as outras pessoas que me apoiaram nomeadamente à senhora Cristina Reguelo, à Irmã Aldina Carnário, à Dede, à Andreia, à Anita, à Sandra Brilhante e à senhora Carla.

À minha amiga Érica Costa, Carolina Medeiros e Vanessa Branco; a minha amiga e companheira de trabalho de curso Fabiana Melo e a todos os meus outros amigos que me acompanharam durante este percurso um muito obrigada por toda a paciência, compreensão e ajuda que me deram.

Por último agradeço e dedico todo este meu trabalho ao meu pai que me acompanhou de lá de cima do céu, à minha querida avó, ao meu grande amigo e namorado Alexandre e sua família, minha família de coração.

## INTRODUÇÃO

Arquitetura ou Revolução - Learning from the satellite foi o tema do exercício lançado para a unidade curricular de Projeto Final de Arquitetura (PFA), do Mestrado Integrado em Arquitetura, deste ano letivo 2013 | 2014.

Este tema começou inicialmente a ser abordado com um workshop de arranque que teve como argumento a representação do espaço no tempo do Space Shuttle Columbia que coincide com o tempo em que há uma grande evolução da tecnologia e do êxodo rural, transformando deste modo as relações entre a humanidade e o território. As transformações provocadas pelas grandes evoluções da época fez-se sentir nas grandes cidades através do rápido crescimento urbano, que por sua vez criou muitas barreiras em todo o território, Deixou desta forma de existir um tecido urbano permeável, passando a uma sequência de barreiras, gerando espaços vazios, sem uso e sem identidade.

As cidades litorais foram as que mais sofreram com estas alterações, em que na cidade de Lisboa observa-se um alastramento da cidade para as suas periferias, gerando assim uma série de bairros designados de bairros periféricos.

A Calçada de Carriche, que é uma das principais artérias de entrada e saída da cidade de Lisboa, funcionando como eixo de ligação entre o centro e a periferia, é um dos exemplos desse crescimento desordenado da cidade para a periferia, onde não existe ligações diretas entre um lado e outro da rua e onde deixa de existir uma preocupação com o existente, gerando uma série de condicionantes, nomeadamente na circulação pedonal.

Seguindo esta questão do desenvolvimento da cidade para a periferia surge como exercício principal do ano a seguinte questão: A Arquitetura e a Cidade: E se toda a zona central da Portela de Sacavém fosse destruída por uma catástrofe?

Esta urbanização da Portela (1965-1979) projeto de Fernando Silva (1914- 1983), através de uma encomenda de Manuel da Mota é mais um dos casos que se encontra rodeado de barreiras, construído numa das zonas de acesso à capital.

Os princípios do projeto da Urbanização da Portela de Sacavém não foram todos cumpridos a quando da sua construção, porém é visível a aplicação ou a vontade da aplicação de alguns princípios da Carta de Atenas resultante do CIAM de 1933.

Os princípios urbanísticos dirigidos por esta carta tinham 4 funções: habitar, trabalhar, repousar e circular.

A Urbanização da Portela de Sacavém foi construída sobre terrenos de quintas, destinando-se à classe média/ alta.

Passando por uma leitura do seu ante-plano e plano atual existe um parâmetro comum que é a centralidade, porém existe uma vontade da criação de espaços verdes no ante-plano que não xegou a ser seguido por completo no plano atual (construído), pois neste existe um espaço impermeável e uma fraca relação com a envolvente, no fundo funciona fechada em si mesma.

Desta forma o é a descentralização, desviando os edifícios que estavam no centro da Portela para os seus limites, mas propriamente para os pontos que são nós de ligação com os outros bairros próximos, reordenando os espaços (estacionamentos, circulação, logradouros e pisos térreos). Procura-se uma maior permeabilidade entre todos os espaços, sendo estes compostos por grandes espaços verdes, em que o centro da Urbanização é um grande parque verde. Como grande intervenção neste local será a criação de um percurso verde que pretende dar a esconder e libertar a grande barreira que envolve o local e dar uso a um limite.

“ O crescente tamanho da nossa área metropolitana e a velocidade a que a atravessamos criam muitos problemas novos à nossa percepção.”<sup>12</sup>

O programa escolhido para o desenvolvimento do trabalho individual de PFA foi muito devido à influência do local em questão. O local é uma das zonas que encontra-se no limite da urbanização, funcionando como uma grande barreira no mesmo, não permitindo ligações direta com Sacavém. Desta forma o primeiro grande objetivo é criar um programa nesse limite. tornando o espaço mais permeável permitindo ligações.

Atualmente existe uma escola básica do 1º ciclo no centro da Portela e que terá de ser repostos como todos os outros nessa zona existentes. A Norte da Portela existe duas escolas, em que uma é básica e outra é secundária e seria conveniente criar um núcleo escolar. Assim sendo o programa da escola do centro da Portela seria recolocado esta zona criando um núcleo escolar e requalificando toda essa zona.

“ Qualquer área urbana funcional tem uma estrutura e identidade, mesmo que seja em muito pequena escala.”<sup>13</sup>

O uso do limite desta área é feito respondendo a um problema existente atualmente que aparece resolvido com um programa que é a escola.

Durante todos os trabalhos houve uma questão sempre presente que foi as barreiras nos, os limites e a forma como pode-se ocupar estes limites e tornar os espaços mais permeáveis. Numa vertente teórica estas questões são pensadas mais no interior dos edifícios e a forma como alguns dos problemas que nos deparamos todos os dias podem ser resolvidos com o conhecimento dos materiais aplicados na arquitetura, fazendo com que a arquitetura e o material sejam complemento uma a outra.

A escolha dos materiais deve ser pensada em conjunto com todo o processo arquitetónico, procurando resolver possíveis danos futuros.

Este tipo de abordagem sobre um projeto de arquitetura e os materiais levou a um interesse pelo estudo da madeira, como forma de resolver um problema frequente nos edifícios e que levam em muito dos casos a grandes problemas sendo esse o excesso de humidade no interior dos edifícios.

A questão da higroscopicidade é de grande interesse ser estudada, sobretudo quando essa questão afeta a arquitetura. Deste modo o laboratório escolhido foi o de Tecnologias da Arquitetura, orientada pelo professor auxiliar do ISCTE-IUL Vasco Rato, com o tema “Sistema Higroscópico em Madeira para Equilíbrio da Humidade no Interior dos Edifícios”.

A escolha deste tema influenciou muito nas decisões construtivas do projeto de arquitetura, que fez com que o mesmo fosse sempre pensado de acordo com a sua materialidade, com os ambientes que a própria materialidade lhe daria.

O objetivo deste tema consistia na criação do próprio sistema em madeira que permitisse o equilíbrio da humidade no interior dos edifícios e que seria aplicado nas salas de aula do projeto de PFA como sistema de tecto falso, resolvendo problemas de acústica e de humidade nas salas com a madeira. Para tal há primeiro toda uma abordagem do conhecimento da madeira, da humidade no interior dos edifícios e da higroscopicidade onde decidido o tipo de madeira que teria o melhor comportamento à humidade que neste caso foi nomeado o aglomerado de partículas,

Partindo do início há uma fase de elaboração dos protótipos com o aglomerado de partículas de madeira com critérios estabelecidos para orifícios circulares e quadrangulares que influenciam na sua capacidade de absorção e libertação de humidade.

---

<sup>12</sup> Lynch, Kevin. A Imagem da Cidade. 2011.

<sup>13</sup> Lynch, Kevin. A Imagem da Cidade. 2011.

Para a análise deste provetes é necessário recorrer a um sistema que recriasse um ambiente humido e outro sem humidade para ser medida as diferenças de humidade e analisar o comportamento dos provetes. Numa primeira análise deste processo haviam suspeitas de que existia uma relação direta entre a capacidade de absorção e libertação da humidade do provete e a sua área, volume e relação entre a área e volume. Porém estas suspeitas ficaram confirmadas com os testes feitos aos provetes em que não seria o provete com maior relação área volume que seria o que apresentaria melhores capacidades para equilíbrio da humidade no interior dos edifícios. Os provetes com maior capacidade para a conceção deste tipo de sistema seriam os que apresentavam um relação área/ volume intermédia, pois o ideal não será o material ter muita área ou muito volume, o que interessa é existir um equilíbrio entre estas relações que faz com que tenha melhores capacidades do que os restantes.

Muitos outros testes serão necessários para a evolução e validação deste sistema, porém este trabalho na vertente teórica permitiu compreender a capacidade e influência que um material poderá ter quando aplicado num espaço.

Finalizando, a iniciativa dos docentes de Projeto Final de Arquitetura e da professora Ana Vaz Milheiro, dos projetos apresentados de diferentes programas arquitetónicos e dos convidados para os seminários contribuíram para o bom desenvolvimento do trabalho.



*“I know I’ve made some very poor decisions recently, but I can give you my complete assurance that my work will be back to normal. I’ve still got the greatest enthusiasm and confidence in the mission. And I want to help you.”<sup>1</sup>*

---

<sup>1</sup> KUBRICK, Stanley - 2001: A SPACE ODYSSEY [Registo Video]. E.U.A: METRO - GOLDWYN - MAYER, 1968. 1 DVD VÍDEO (142 min) PAL.

**I.a.**

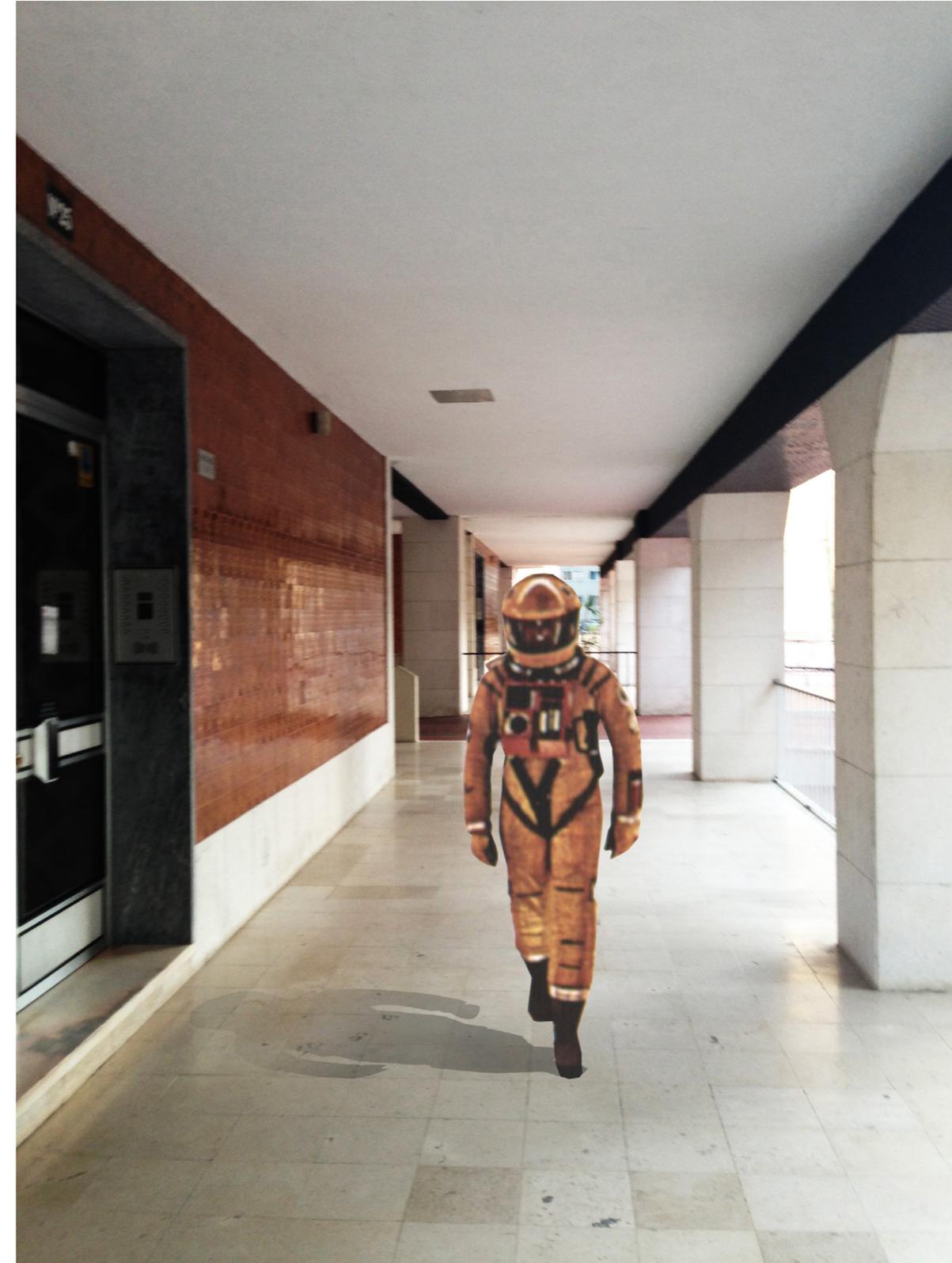
**PROJETO DE GRUPO**

**WORKSHOP DE ARRANQUE**

O nosso primeiro trabalho realizado no âmbito da Cadeira de Projeto Final de Arquitetura teve como argumento: A Representação do Espaço no Tempo do Space Shuttle Columbia. Este vaivém, pertencente à NASA, a partir de 1981, começou a realizar missões espaciais que duraram cerca de vinte anos. Durante estas duas décadas, devido à evolução tecnológica e ao êxodo rural, as relações entre a humanidade e o território sofreram grandes alterações.

Todo o planeta Terra começou a ser visível a partir de satélites, o que fez com que a globalização se começa-se a fazer sentir, assim como tornar claro as alterações dos ecossistemas, que nas grandes cidades se observou através do rápido crescimento urbano, que conseqüentemente criaram barreiras ao longo do território. Por sua vez, derivado a este acontecimento, a própria sociedade começa a preocupar-se com questões relacionadas com o desenvolvimento sustentável.

O nosso país, distante destas competições espaciais, consegue recebe influências mesmo que inconscientemente, tal como a maioria dos estados, dos resultados devastadores deste "mundo novo", mas em simultâneo usufrui de um novo regime democrático gerado na sequência da revolução do 25 de Abril de 1974. As cidades litorais do país são as que sofrem mais alterações nesta época; as áreas metropolitanas da cidade de Lisboa e do Porto espalham-se, formando assim os bairros periféricos.



A Calçada de Carriche é um bom exemplo desse crescimento desordenado, na qual para além da construção de edifícios em altura também há um conjunto de artérias de estradas que surgem ou outras que simplesmente são alargadas.

Esta via é uma das principais artérias de entrada e saída da cidade de Lisboa, funcionando como a ligação entre o centro e a periferia – iniciando-se na ponta do Vale de Telheiras e terminando no Olival Basto no concelho de Odivelas.

O vale da Calçada de Carriche é uma das principais linhas de água presentes no território.



Figura 5 | Imagens Calçada de Carriche 1938.

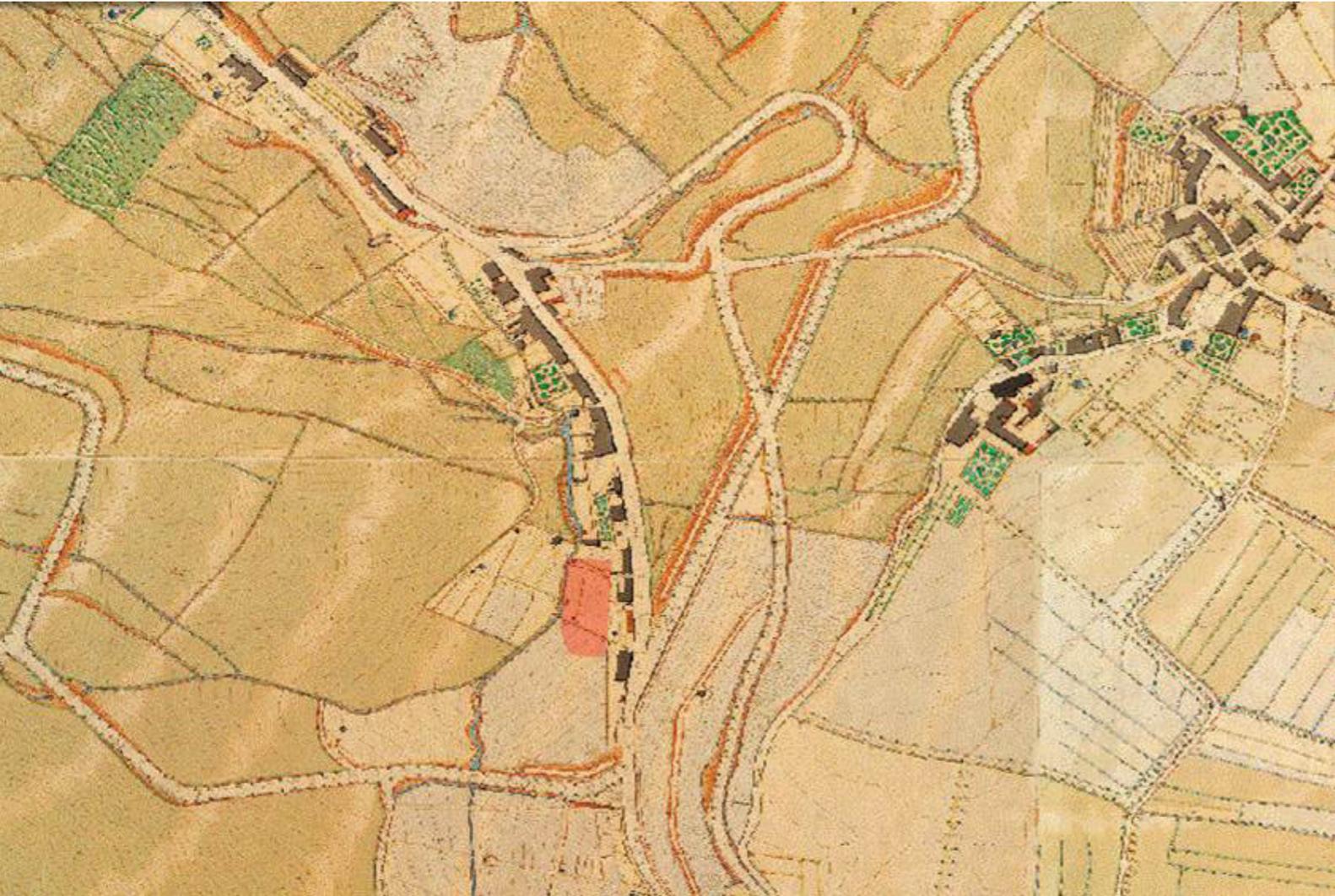


Figura 3 | Planta retirada LXI - Silvio Pinto 1911.



Figura 4 | Planta retirada LXI - 1970 - 1983.

Com base no filme do 2001 Odisseia no Espaço e tendo em conta a sua ideia de Passado e Futuro, optamos por um pensamento de como o espaço poderá ser alterado pensado nas várias alterações que este espaço teve desde 1911 à atualidade.

Imaginando que daqui a 20 anos a Calçada de Carriche contenha uma intervenção como por exemplo a Artéria de Boston – The Big Dig e La Defense em Paris, na qual há uma maior interligação entre todos os espaços – entre as grandes vias dos carros, a zona das pessoas e os espaços verdes, deixaria de ter barreiras.

No projecto The Big Dig em Boston havia um grande problema de tráfego visto ser uma artéria central da cidade. Esta era uma das rodoviárias com mais congestionamento dos Estados Unidos. Neste exemplo era evidente a falta de identidade dos edifícios devido à grande importância focada nas rodovias.

Esta teve uma grande intervenção que consistiu em fazer-se 8 vias subterrâneas e manter apenas estrada nas laterais de apoio aos residentes daquela zona e no centro surge uma grande via verde.

Figura 2| Proposta de grupo.



A nossa intervenção não é direcionada para a mudança urbanística como acontece nestes dois exemplos mas temos por base o que poderá acontecer, vistos a Calçada de Carriche ser tal como os exemplos apresentados uma grande artéria de ligação entre o centro e a periferia da cidade de Lisboa.

Com base no orçamento que nos foi dado de 15.000 euros e com uma leitura mais de micro-escala (não esquecendo a leitura anterior de macro-escala do que poderá ser o local) analisamos problemas que existem no edifício e intervimos de forma mais cirúrgica.

O objetivo é substituir os elementos que se encontram fora do contexto arquitetónico e adaptar mais ao espaço temporal da construção do edifício; é perceber quais os ambientes mais frágeis, assim como corredores, certos recantos, escadas ou guardas e tentar dar-lhes uma nova vida, um uso com um olhar diferente, mais agradável.



Figura 6 | Imagens Calçada de Carriche Actual.



Figura 7 | Proposta de grupo.



Figura 8 | Proposta de grupo.

“Os limites são os elementos lineares não usados nem considerados pelos habitantes como vias.

São as fronteiras entre duas partes, interrupções lineares na continuidade (...). Funcionam, no fundo, mais como referências secundárias do que como alavancas coordenantes; tais barreiras podem ser mais ou menos penetráveis que mantêm uma região isolada das outras, podem ser “costuras”, linhas ao longo das quais as regiões se relacionam e encontram.”<sup>4</sup>

<sup>4</sup> LYNCH, Kevin. A Imagem da Cidade. 2011.p. 52.

II.

**LIMITE | FRONTEIRA**

Como é ocupado o limite da Portela? Como usar esse limite? Como rompê-lo? Como tornar a Portela Cidade?

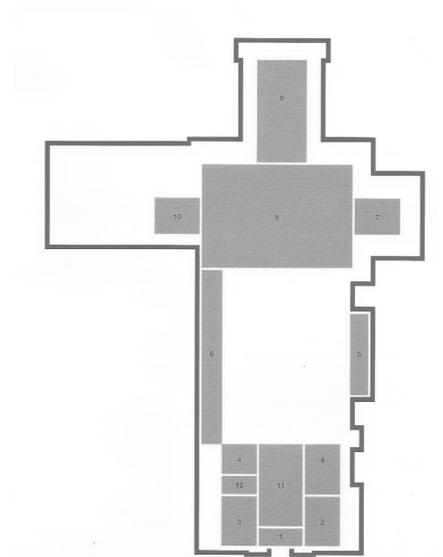
Kevin Lynch é um dos grandes autores do desenvolvimento dos temas relacionados com a cidade, com os elementos que compõem uma cidade. Segundo o autor os limites são elementos lineares não considerados como ruas, sendo normalmente mas nem sempre, as fronteiras entre dois espaços diferentes.

Os limites podem ser causados por vias, passagens, topografia e fronteiras de bairros e não têm que ser impenetráveis, podem ser uma costura de união ao invés de uma barreira isolada.<sup>5</sup>

Propõe-se usar alguns terrenos adjacentes à fronteira imposta pelos eixos viários, como ponto de charneira entre a Portela e os bairros envolventes, com o propósito de integrá-los na malha urbana da cidade.

Esses terrenos são pensados de forma a que a arquitectura venha "cuzer" as fronteiras, criando pontos de ligações entre os bairros adjacentes. Um exemplo de um espaço que caracteriza-se por ser um limite e ao mesmo tempo um espaço habitável é o Confessionário dos Jerónimos.

<sup>5</sup> Lynch, Kevin. A Imagem da Cidade. 2011. p. 68.



1 | Portal Ocidental 2 | Baptistério 3 | Capela do Senhor dos Passos 4 | Túmulos 5 | Portal Sul 6 | Confessionários e Celas 7 | Capelas Sul do Transepto 8 | Transepto 9 | Capela-Mor 10 | Capela Norte do Transepto 11 | Coro Alto 12 | S. Jerónimos  
Figura 11 | Imagem e planta dos confessionários dos Jerónimos.



Figura 12 | Planta de cheios e vazios.



Figura 13 | Planta com os limites que limitam a Urbanização da Portela.

“O crescimento urbano faz-se por adição de novos novos, quase sempre na periferia, e por renovação, pontual ou em conjuntos com certa dimensão, nos tecidos herdados. Deste modo, a cidade contém manchas, mais ou menos extensas, e testemunhos pontuais de várias épocas.”<sup>2</sup>

<sup>2</sup> SALGUEIRO, Teresa Barata (1992). A cidade em Portugal. Uma Geografia Urbana, Porto: Edições Afrontamento, p.385.

**III.**  
**URBANIZAÇÃO DA**  
**PORTELA DE SACAVÉM**  
**ENQUADRAMENTO**

A partir da década de 50, as novas medidas políticas tomadas por Marcello Caetano (1906-1980), vieram a possibilitar uma maior abertura de Portugal para a Europa, trazendo novos investimentos, instalando-se uma atmosfera de optimismo e esperança – Primavera Marcellista.

Contudo, este acontecimento provocou algumas consequências, nomeadamente na agricultura, a área em que mais de metade dos portugueses trabalhava que ao modernizar-se, passou a requerer o mínimo de mão-de-obra. Foi uma consequência drástica que fez com que estes antigos agricultores tivessem que se deslocar para os grandes centros urbanos, em processo de industrialização e crescimento económico, à procura de trabalho e melhores condições de vida – Êxodo rural.

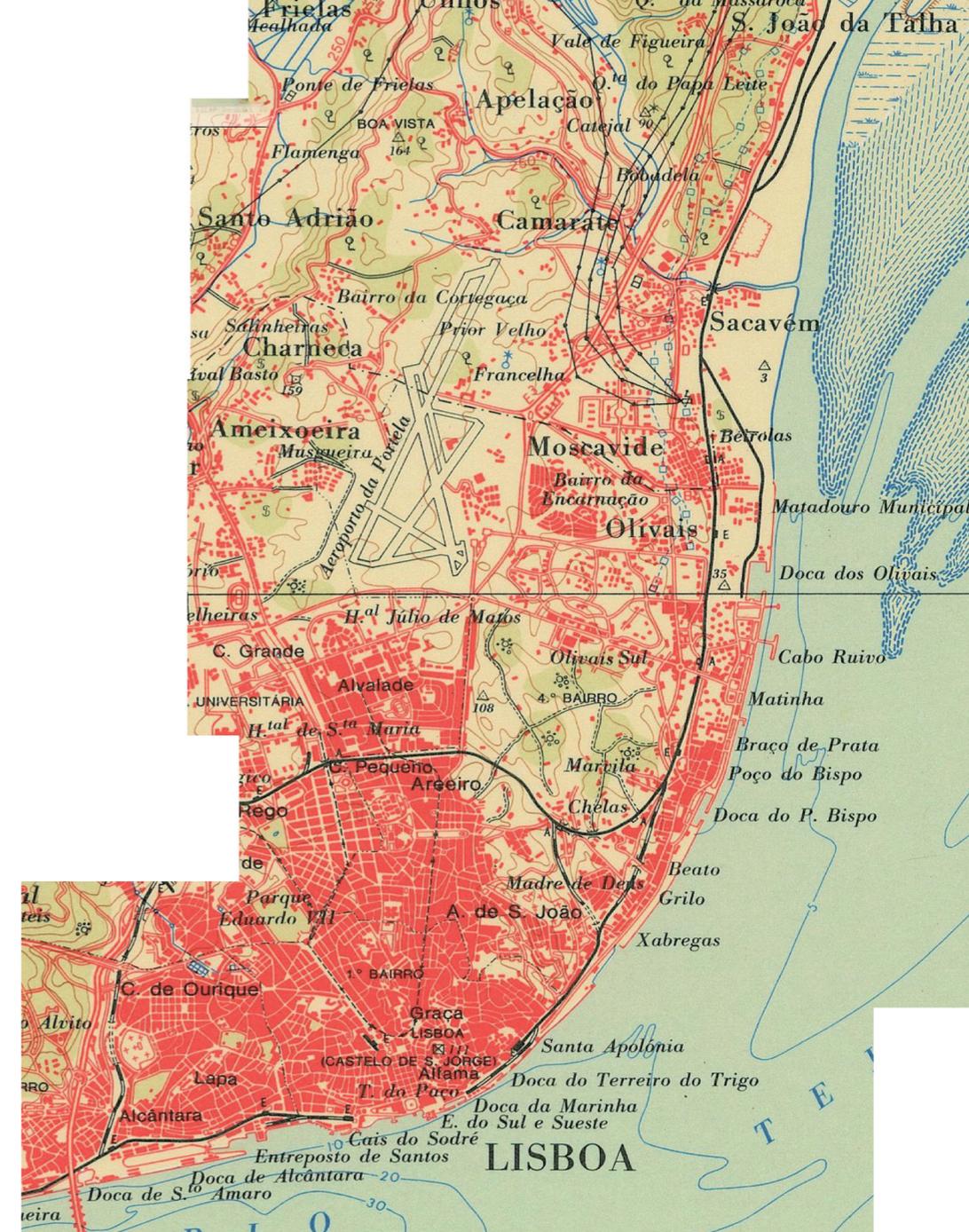


Figura 9 | Cartografia Lisboa 1970.

A cidade de Lisboa ficou lotada. A solução encontrada para a grande carência de habitação, passava por tomar os terrenos limítrofes ao centro de Lisboa, outrora quintas agrícolas de grande fertilidade, transformando-os em autênticas "cidades-satélite", baseadas num "racionalismo tardio"<sup>3</sup>, influenciado pelas teorias e práticas da Carta de Atenas e da Arquitectura Moderna, até então experimentada em muitos outros países da Europa mais evoluídos.

Rapidamente é criado um novo objectivo de negocio, tanto por parte dos proprietários das quintas que viam os seus terrenos valorizados, como pelas grandes empresas do sector imobiliário, apoiadas por um governo fascista, permitindo-as monopolizar o mercado.

<sup>3</sup> MONTEIRO, Isabel. A Obra do arquitecto Fernando Silva (1914-1983): um arquitecto da "geração esquecida", Dissertação de Mestrado em História da Arte Contemporânea, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, 2007. (policopiado)



Figura 10 | Cartografia Actual.

“Em cada cidade existe um “antes” e um “depois”, daí que seja a síntese de vários momentos.”<sup>6</sup>

Pode-se observar um crescimento da cidade na zona a Norte da cidade onde temos as malhas menos densificadas sem planeamentos e as grandes vias que permitem ligações entre elas.

Temos como exemplo dessa adição de bairros na periferia, com diferentes morfologias, os seguintes casos: Encarnação (1938), Estacas, (1949), Chelas (1964), Olivais Sul (1961), Olivais Norte (1959), Moscavide, Sacavém, Prior Velho. Estes bairros ou urbanizações são de diferentes datas e por conseguinte de diferentes arquitectos.

Podemos reter através das cartografias (figuras 14 e 15) a grande transformação da cidade de Lisboa.

Com base no novo contexto de criação de negócios surge, por parte de um influente construtor e investidor, Manuel da Mota, junto com o Arquitecto Fernando Silva, o parecer de se construir um grande empreendimento num terreno composto por cinco quintas (Ferro, Casquilho, Vitória, Alegria e Carmo), estrategicamente localizado no limite entre os Municípios de Loures e Lisboa e ladeado por importantes artérias de ligação ao território envolvente.

<sup>6</sup> BETTENCOURT, Luísa Catarina Freitas Andrade (2010). A Morfologia Urbana da Cidade do Funchal e os seus espaços públicos estruturantes. Malha Urbana nº10. Capítulo 1.- A cidade.p. 26.



Figura 14 | Mapa com marcação das quintas antigas.

“A morfologia urbana é considerada a estrutura e a configuração de um objecto. Esta analisa os aspectos exteriores do meio urbano e as suas relações, definindo e explicando a paisagem urbana a sua respectiva estrutura. A forma urbana é caracterizada pelas suas características exteriores, físicas e pela própria evolução do tempo.<sup>7</sup>”

<sup>7</sup> LAMAS, José Manuel Ressano Garcia (1993). Morfologia Urbana e Desenho da Cidade. Fundação Calouste Gulbenkian. p.37.

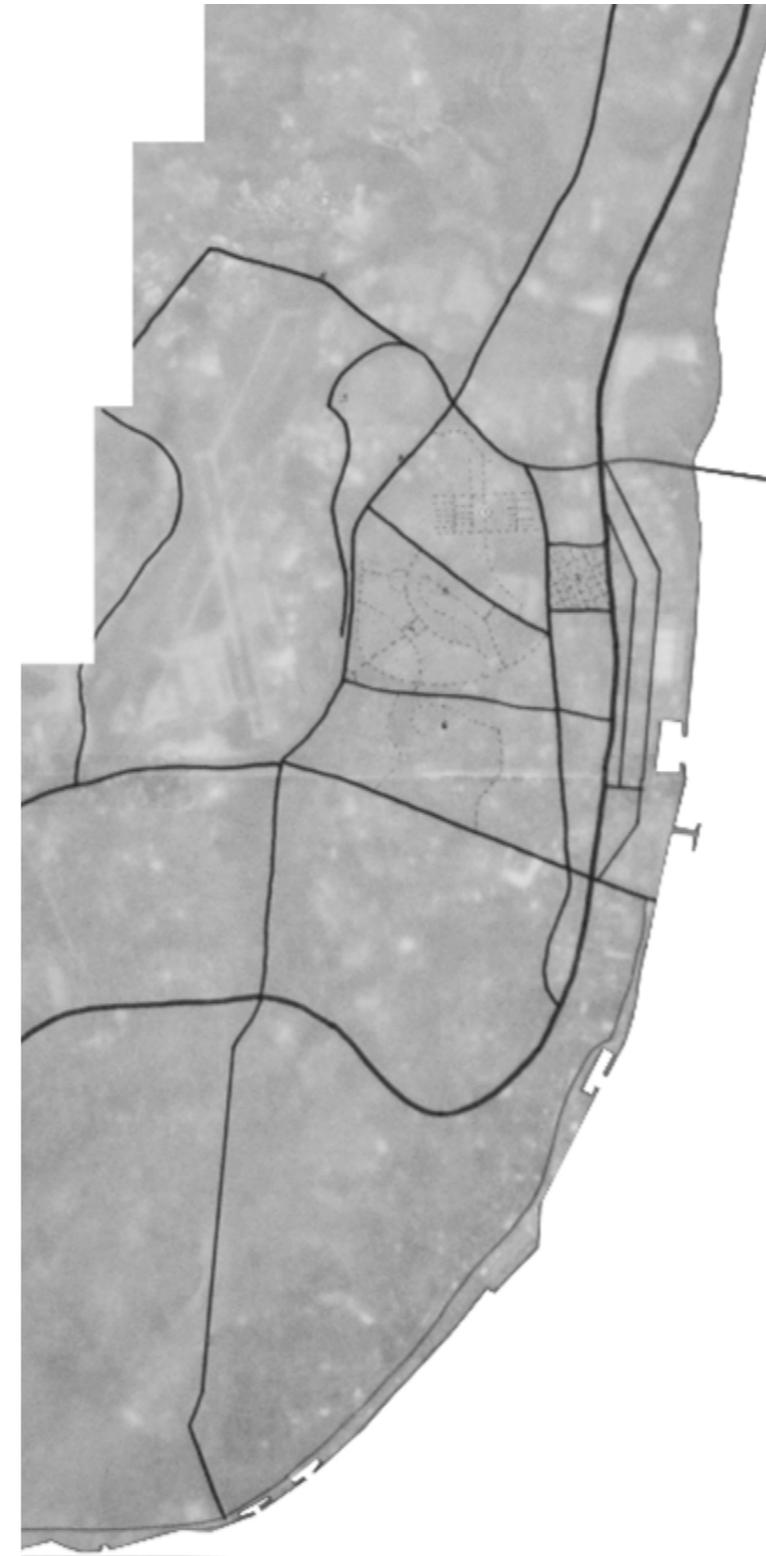


Figura 15 | Esquiço de diagrama da morfologia dos Bairros envolventes da Urbanização da Portela de Sacavém sobre orto actual.



1 Urbanização da Portela de Sacavém | 2 Olivais Norte | 3 Encarnação | 4 Olivais Sul | 5 Moscavide | 6 Parque das Nações  
Figura 16 | Diagrama da morfologia dos Bairros envolventes da Urbanização da Portela de Sacavém.

As propostas de Hilberseimer para a criação de uma cidade nova em meados da década de vinte, tinham como conceito a separação das duas principais funções, habitar e trabalhar, concretizando-o através da sua sobreposição. A cidade residencial por cima da cidade comercial, consequentemente a livre circulação pedonal, em plataformas superiores, separavam o peão do trânsito rápido e de poluição.

Tal como Hilberseimer, o Arquitecto Fernando Silva procura tirar partido um pouco deste conceito, mas adaptando-o com fundamentos, já presentes neste, da Carta de Atenas e também de outras práticas, como as new-towns inglesas, as cidade-satélite suecas ou as villes nouveau parisienses.

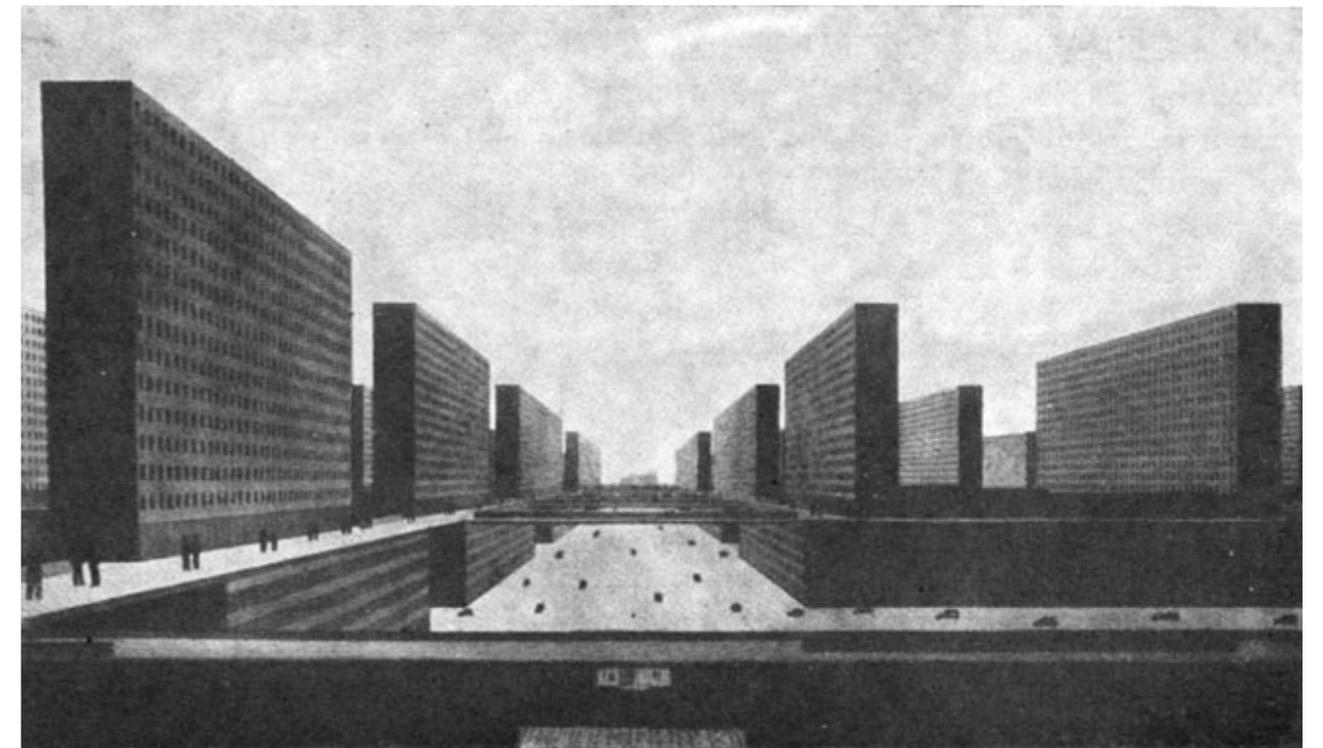


Figura 17 | Proposta do Arquitecto Hilberseimer.

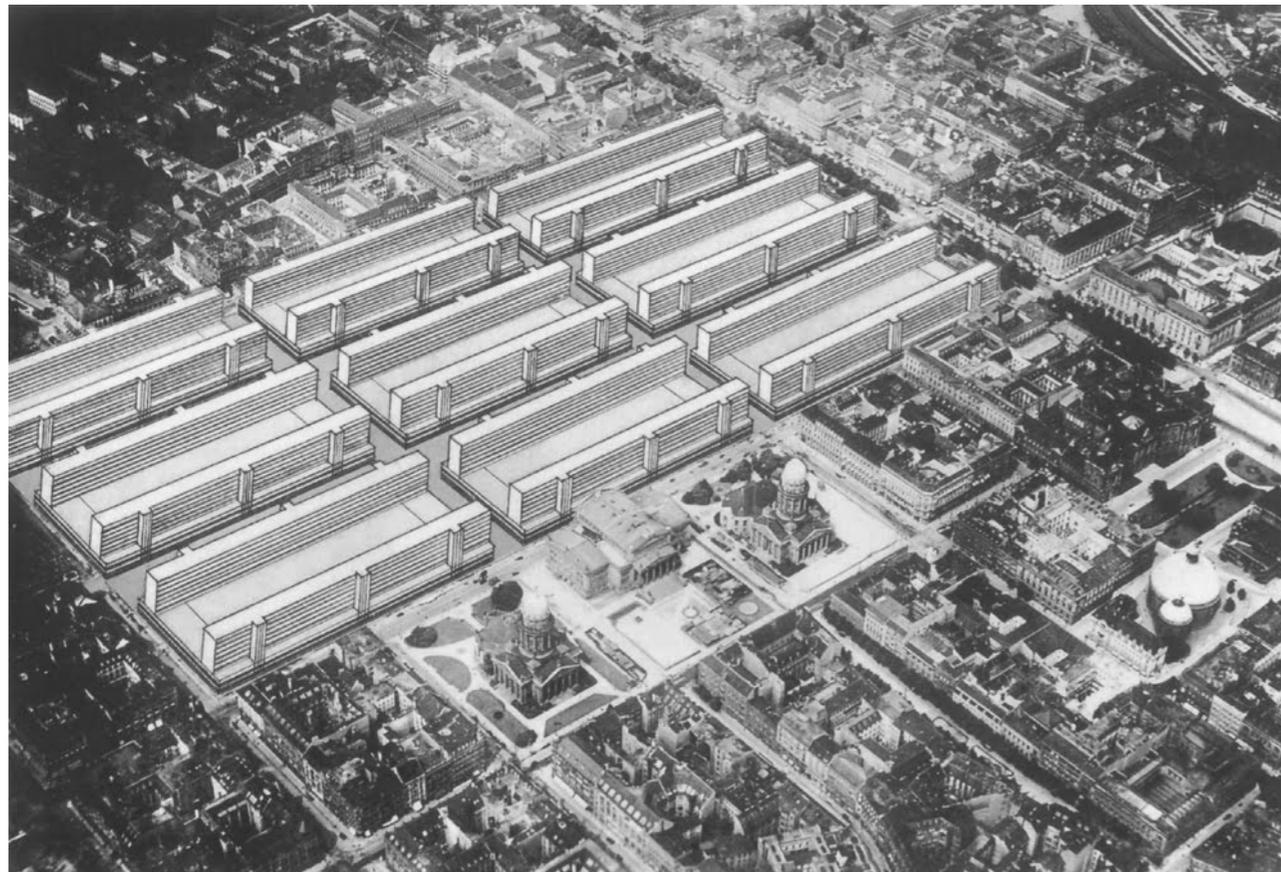


Figura 18 | Proposta do Arquiteto Hilberseimer.



Figura 19 | Maqueta Antepiano de Urbanização da Zona da Portela.

Em 1960, traçava o Antepiano de Urbanização da Zona da Portela, à imagem das “mais recentes concepções de urbanismo e arquitectura”<sup>8</sup>. O Arquitecto procurou, de uma forma racional, conjugar as funções fundamentais de uma “cidade-satélite” (equipamentos, circulações e zonas recreativas) com as necessidades básicas para uma boa qualidade de vida, tal como na Carta de Atenas. As vias de circulação hierarquizadas, separavam o peão do automóvel através de uma rede pedonal a um nível superior. Os edifícios residenciais, “objectos puros não comunicantes”<sup>9</sup>, pontuavam numa densa vegetação, como uma autêntica “cidade-jardim”, assentes sobre plataformas ajardinadas e dispostos geometricamente em torno de um centro colectivo, mais orgânico, englobando estabelecimentos comerciais, a administração municipal, um mercado, um centro cultural, uma igreja, centros desportivos, grupos escolares, zonas verdes e estacionamento automóvel, com capacidade suficiente para servir também as unidades vizinhas de Moscavide e Sacavém.

A comunicação entre os vários sectores residenciais e o centro era feita por meio de passagens, superiores e inferiores, conforme a topografia do terreno, permitindo livre circulação pedonal por todo o complexo e unidades vizinhas. Este conceito, puramente urbanístico, possibilitou uma forte relação, do que se pretendia que fosse uma cidade-satélite, com o território envolvente, concretizando a grande preocupação que o Arquitecto Fernando Silva procurava em toda a sua obra, fazer cidade ao projectar Arquitectura.

<sup>8</sup> MONTEIRO, Isabel. A Obra do arquitecto Fernando Silva (1914-1983): um arquitecto da “geração esquecida”, Dissertação de Mestrado em História da Arte Contemporânea, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, 2007. (policopiado)

<sup>9</sup> GONÇALVES, Rogério. Apontamentos sobre o nosso Transitório (Pós) Moderno, in *Jornal Arquitectos*, nº 208, Novembro/Dezembro, 2002, p.75-79.



Figura 20 | Planta esquemática Antepiano de Urbanização da Zona da Portela.

Enquadramento proposta



Figura 21 | Ortho foto mapa actual.

“... precendo-se no seu centro orgânico e geométrico, a construção de um centro coletivo que engloba o equipamento comercial e recreativo, indispensável a uma população com cerca 25.000 habitantes na qual se englobava a Urbanização da Portela e a das zonas habitacionais vizinhas, tais como Sacavém e Moscavide.”<sup>10</sup>

<sup>10</sup> MONTEIRO, Isabel. *A Obra do arquitecto Fernando Silva (1914-1983): um arquitecto da “geração esquecida”*, Dissertação de Mestrado em História da Arte Contemporânea, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, 2007. (policopiado).

*A Arquitectura e a Cidade. E se toda a zona central da Portela de Sacavém fosse destruída por uma catástrofe?*

A Urbanização da Portela (1965-1979) projecto do arquitecto Fernando Silva (1914-1983) tem muitos principios que não foram seguidos como planeado pelo arquitecto, existindo desta forma um antepiano e vários planos.

A partir da década de 50, as novas medidas políticas tomadas por Marcello Caetano (1906-1980), vieram a possibilitar uma maior abertura de Portugal para a Europa, trazendo novos investimentos, instalando-se uma atmosfera de optimismo e esperança – Primavera Marcellista.

Nas décadas de 60/70, a grande importância dada à iniciativa privada, permitiu a formação de grandes empresas, especializadas, não só na produção, como também na promoção e comercialização de empreendimentos de grandes dimensões. Aquando da sua promoção, estas empresas prometiam uma data de características, tais como a criação de amplas zonas verdes de estar, munidas de equipamentos inovadores, mas raramente construídos, ou só feitos mais tarde, já por iniciativa pública e por grande contestação dos residentes.

A Urbanização da Portela, tal como a conhecemos, é o resultado deste processo de falsa propaganda e por um atribulado processo de concretização.

A aplicação de soluções construtivas inovadoras, como a “cofragem-túnel”, aliada à forte pressão, por parte dos investidores, para redução máxima de custos e a um processo de loteamento que veio a seccionar, aquilo que o Arquitecto pretendia que fosse uma unidade, em várias parcelas, construídas por empresas distintas, fez com que este projecto ficasse aquém da proposta inicial. Mesmo com o grande esforço que o Arquitecto Fernando Silva teve ao longo deste percurso, lutando por manter a essência dos conceitos iniciais e um aspecto unitário, não foi suficiente para o fracasso desta obra.



Figura 22 | Proposta de grupo.



Figura 23 | Urbanização da Portela.

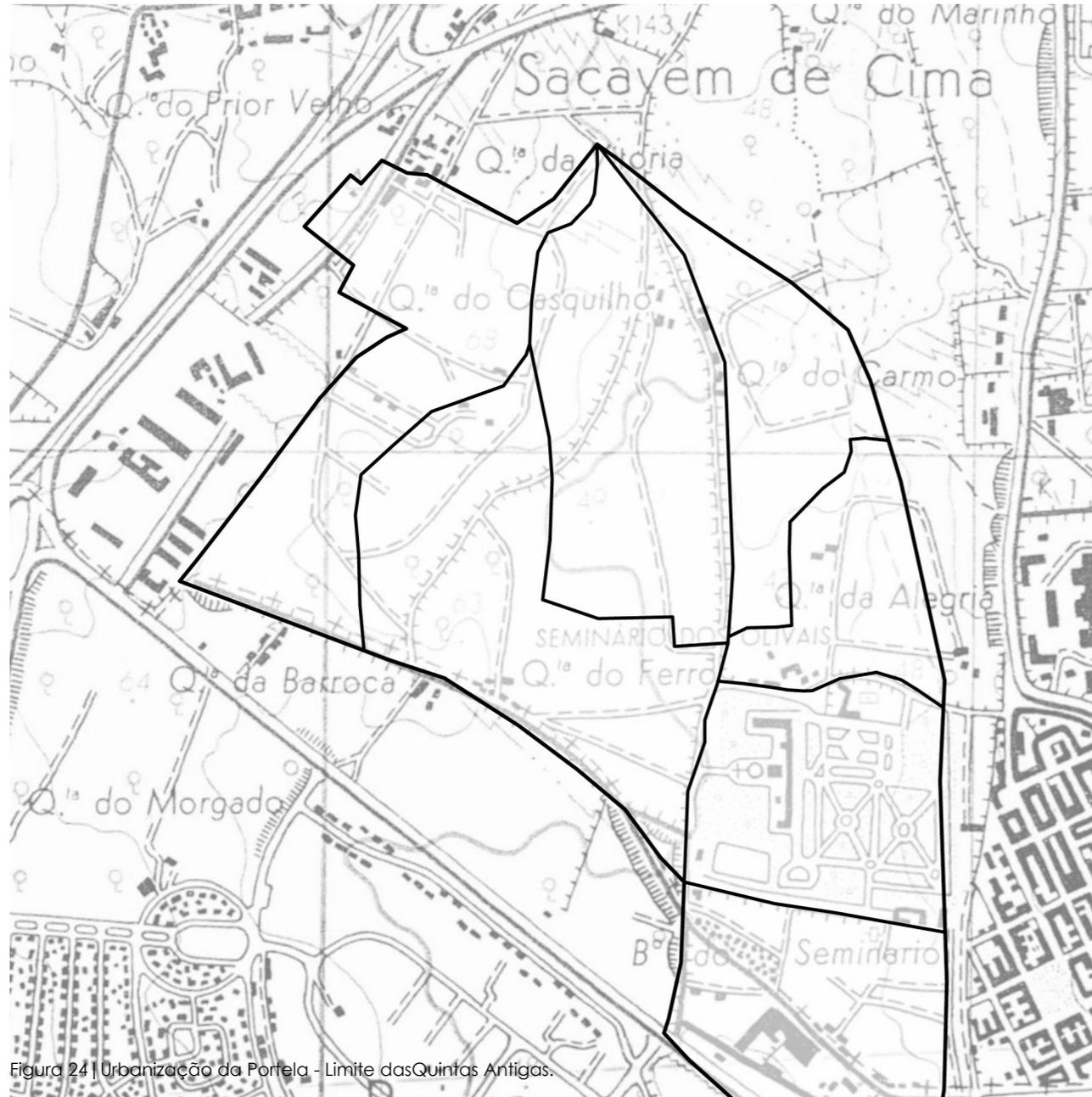


Figura 24 | Urbanização da Portela - Limite das Quintas Antigas.

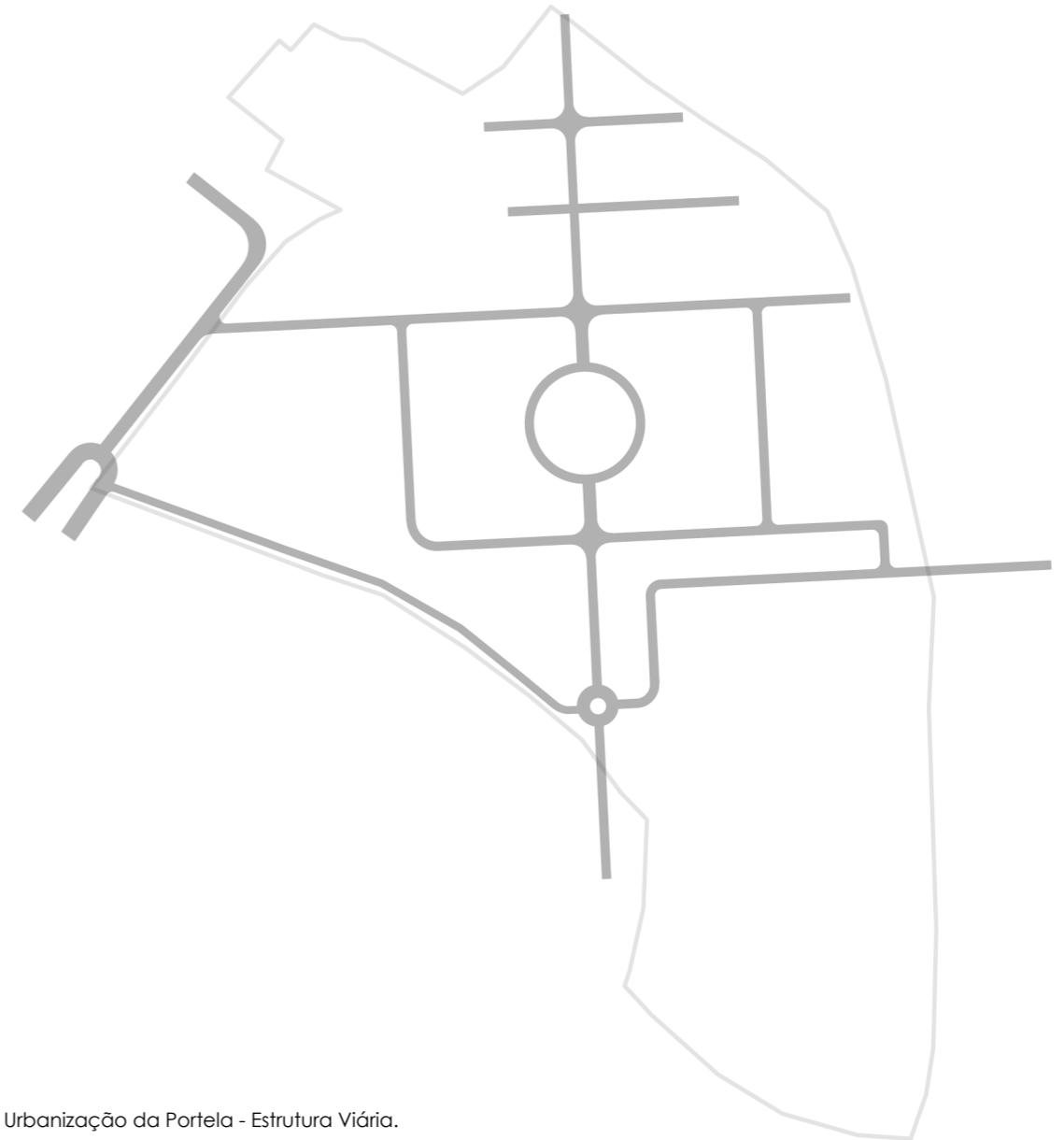


Figura 25 | Urbanização da Portela - Estrutura Viária.

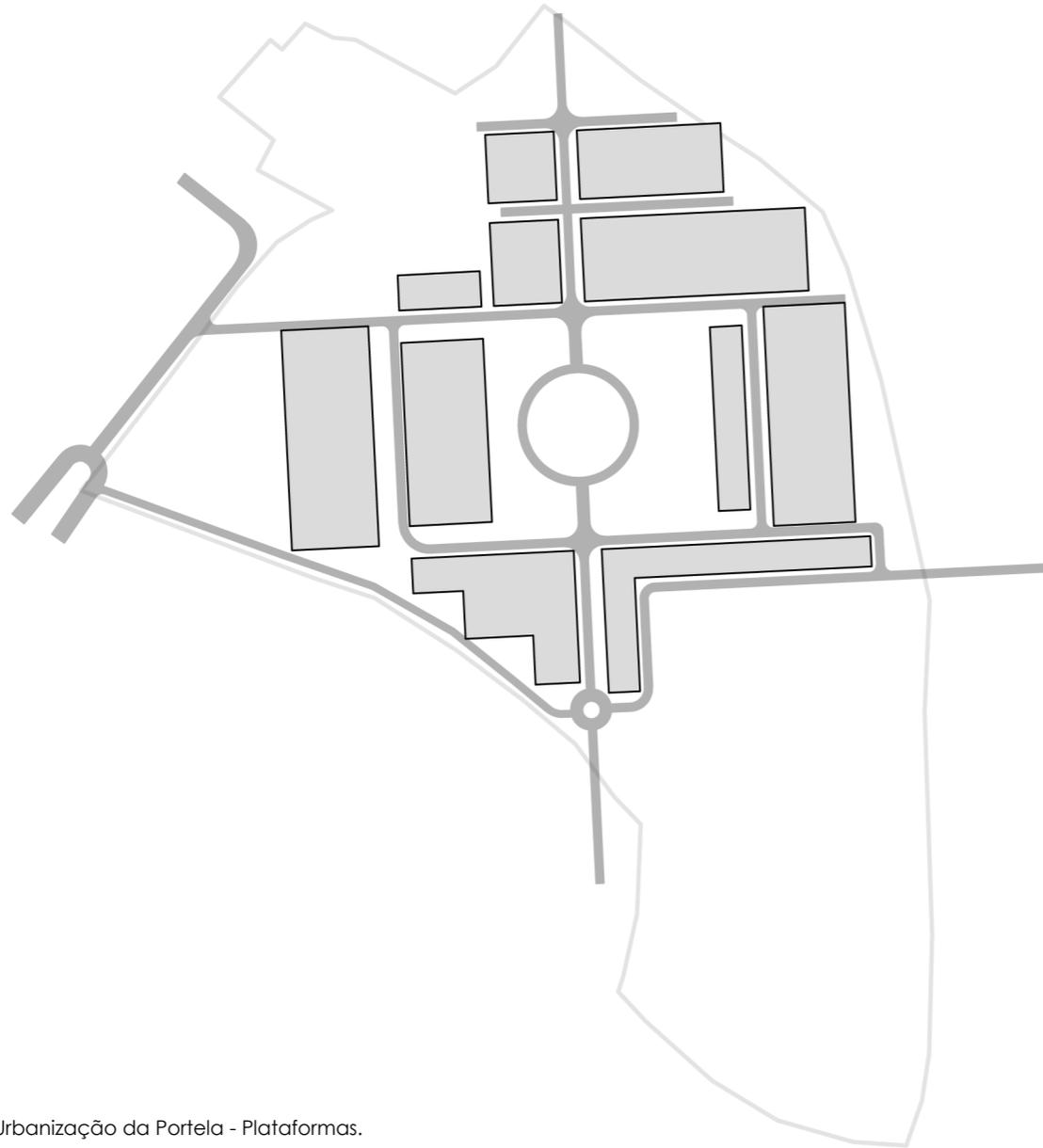


Figura 26 | Urbanização da Portela - Plataformas.

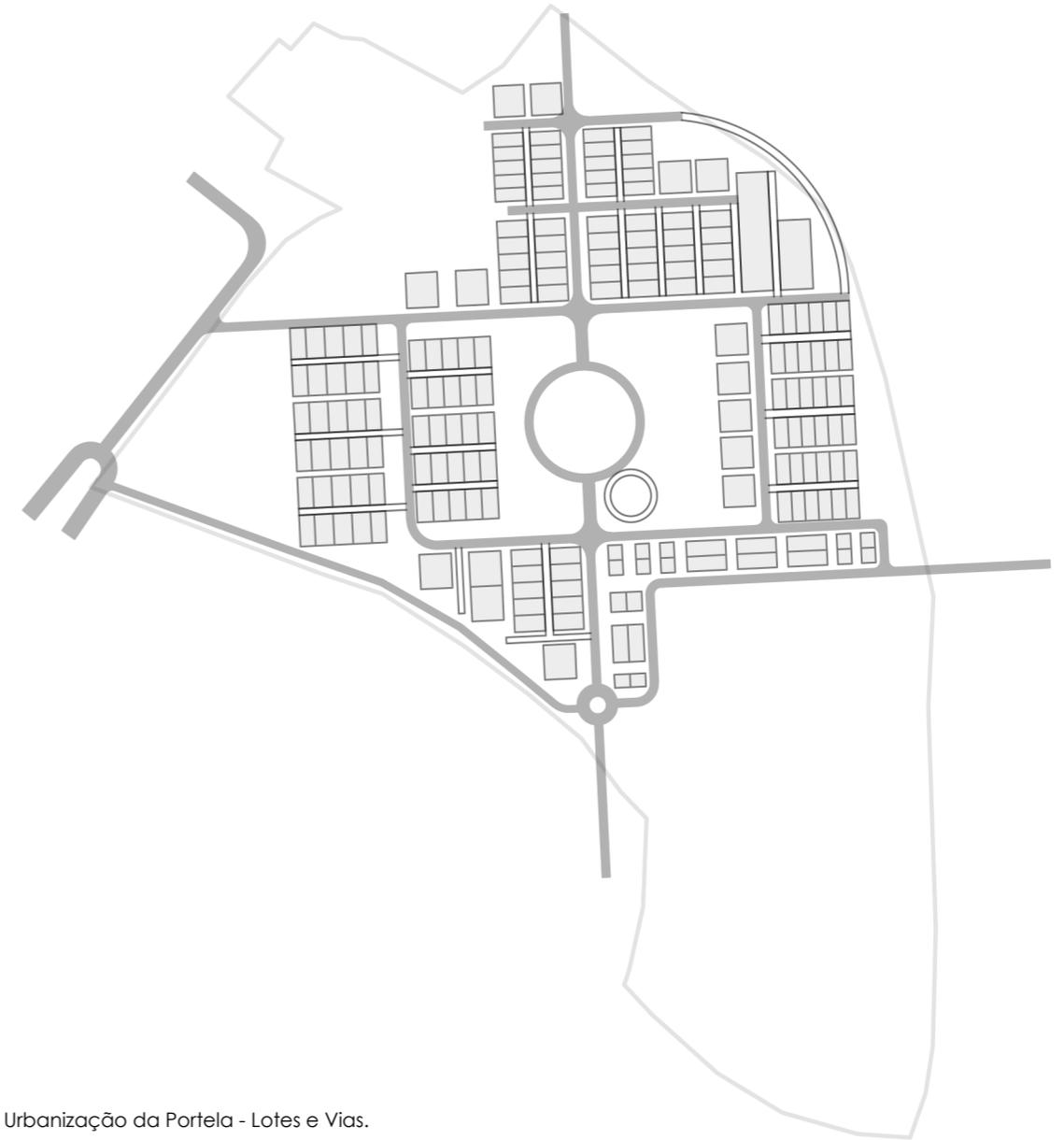


Figura 27 | Urbanização da Portela - Lotes e Vias.

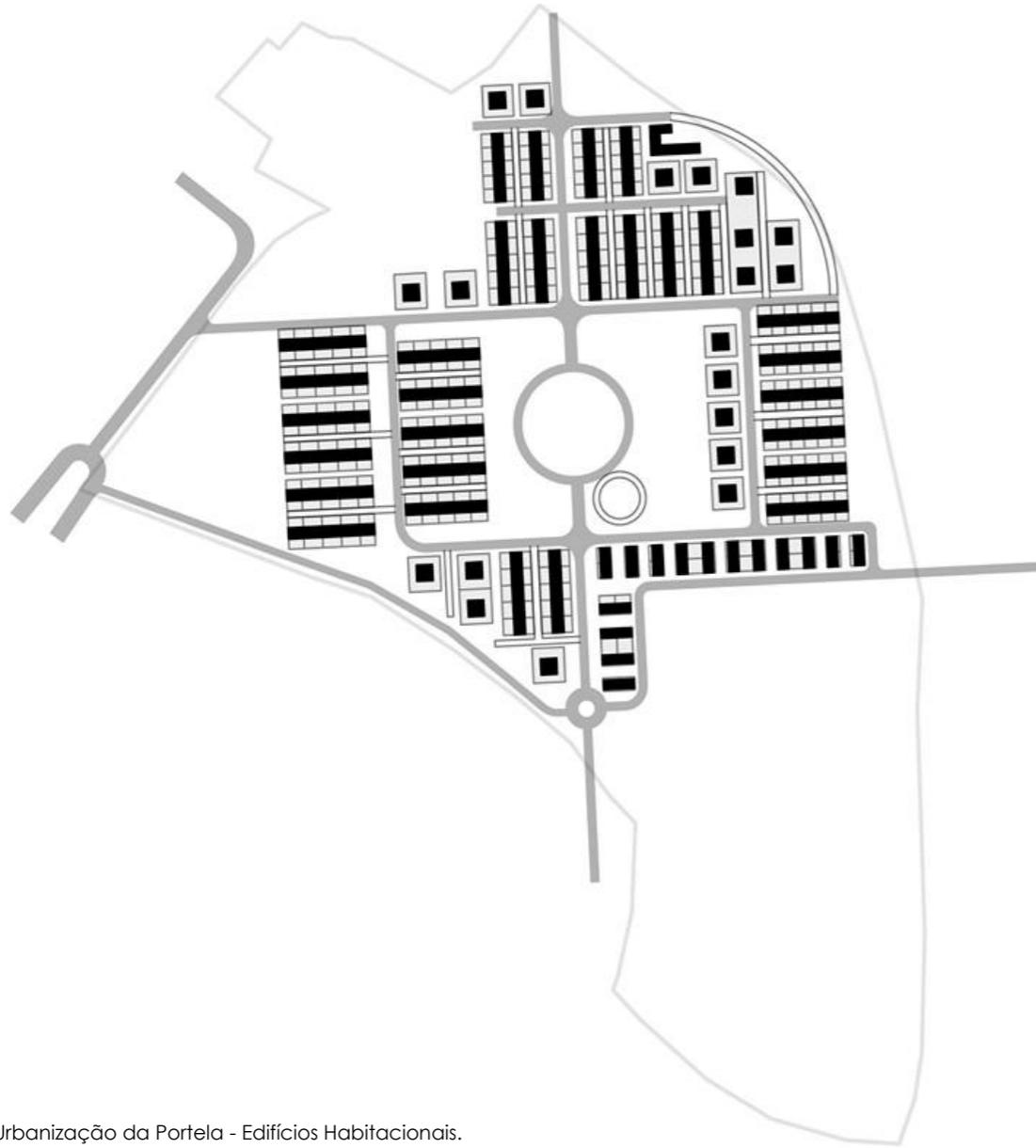
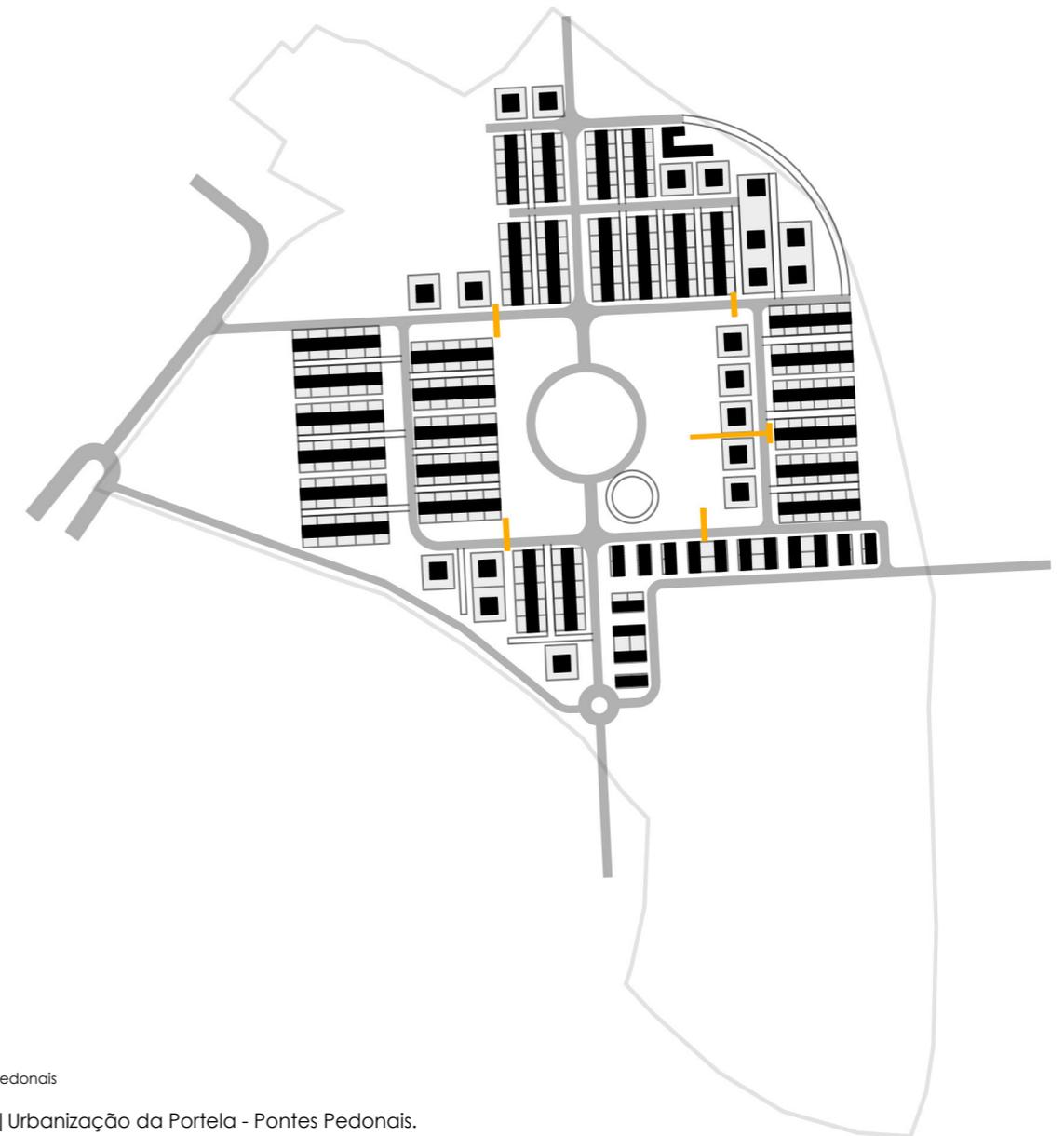


Figura 28 | Urbanização da Portela - Edifícios Habitacionais.



Pontes pedonais

Figura 29 | Urbanização da Portela - Pontes Pedonais.

Na altura da sua construção da Urbanização da Portela existia uma espécie de um núcleo urbano satélite, organizando-se segundo uma lógica de forma a conseguir resolver as insuficiências da cidade antiga, respondendo a aspirações da vida moderna.

Os paralelepípedos habitacionais, caracterizados por faixas horizontais, encontram-se afastados uns dos outros formando pátios entre eles, que pretendiam trazer uma linguagem de edifícios isolados relacionados com os espaços verdes.<sup>11</sup>

Actualmente a Portela encontra-se circundada com um grande desenvolvimento de vias, que limitam, deixando apenas alguns pontos de ligação.

**Equipamentos:** No centro é onde surgem os equipamentos públicos, tais como um centro comercial que alberga todo o tipo de comércio, uma torre em que metade dos seus pisos são para trabalho em escritórios e a outra metade destina-se a habitação, uma igreja do arquitecto Luíz Cunha, piscinas com ginásio, uma junta de freguesia, uma escola E.B. 1º Ciclo, campos desportivos, um edifício de aulas de universidade sénior, uma associação de moradores e zonas verdes.

<sup>11</sup> FERREIRA, Bruno. André Macedo. Optimist Suburbia. Doutramento em Arquitectura.

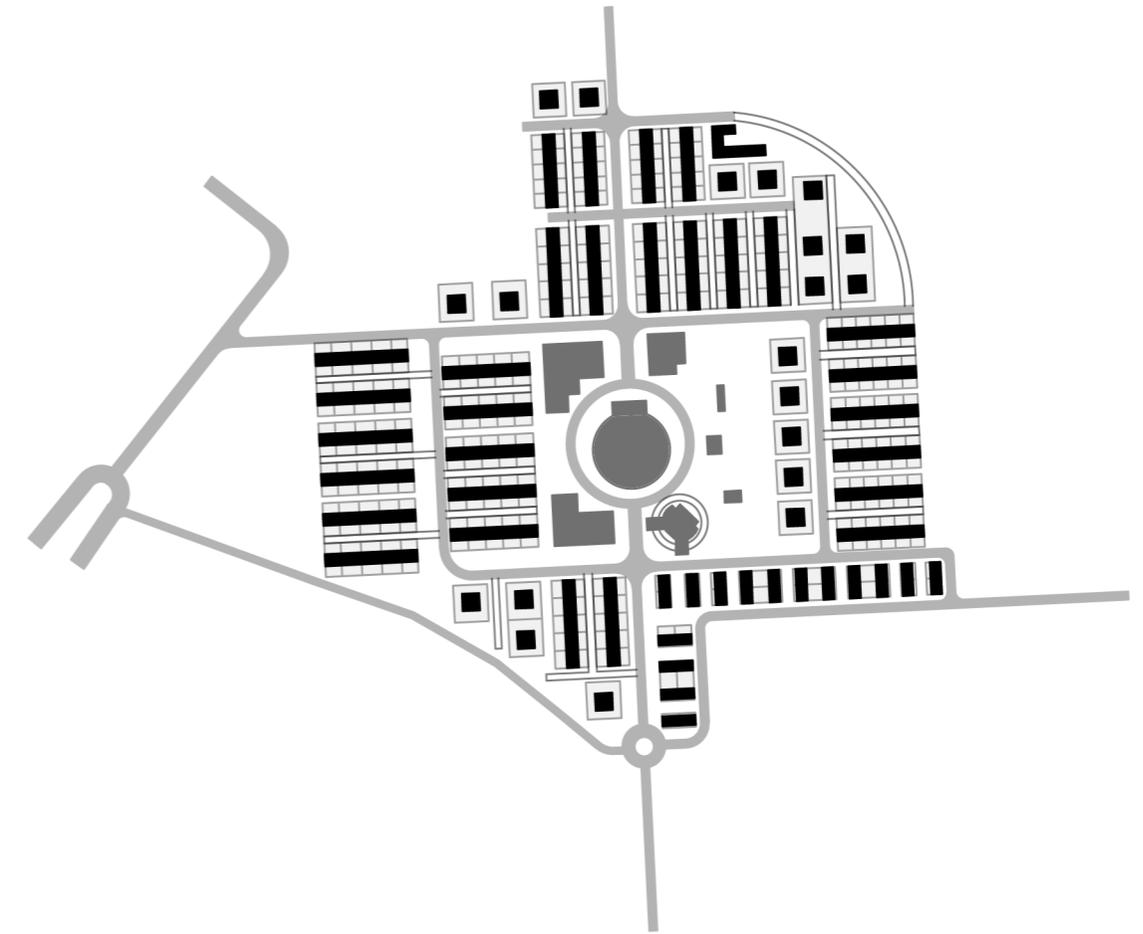


Figura 30 | Urbanização da Portela de Hoje.

“civitas [...] maxima quaedam est domus  
et contra domus minima quaedam est  
civitas”<sup>11</sup>

<sup>11</sup> ALBERTI, Leon Battista , *Re Aedificatoria* Cap. IX, p.65.

# IV. PROPOSTA GRUPO

Proposta

Figura 31 | Proposta de Grupo.



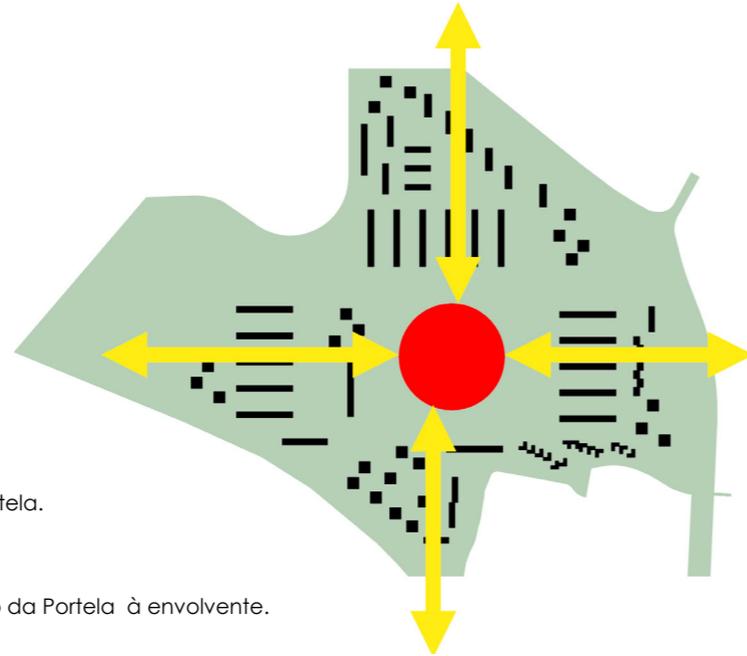


Figura 32 | Antepiano da Urbanização da Portela.  
Espaço verde pontuado por edifícios;  
Centralidade;  
Concentração de equipamentos no centro;  
Percursos pedonais que ligam a urbanização da Portela à envolvente.

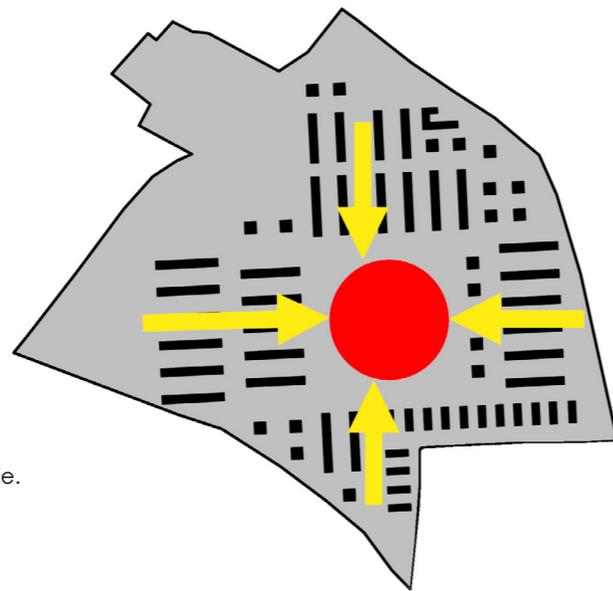


Figura 33 | Plano Urbanização da Portela de Hoje.  
Centralidade;  
Espaço densamente impermeável;  
Estacionamento anárquico;  
Fraca relação com a envolvente.

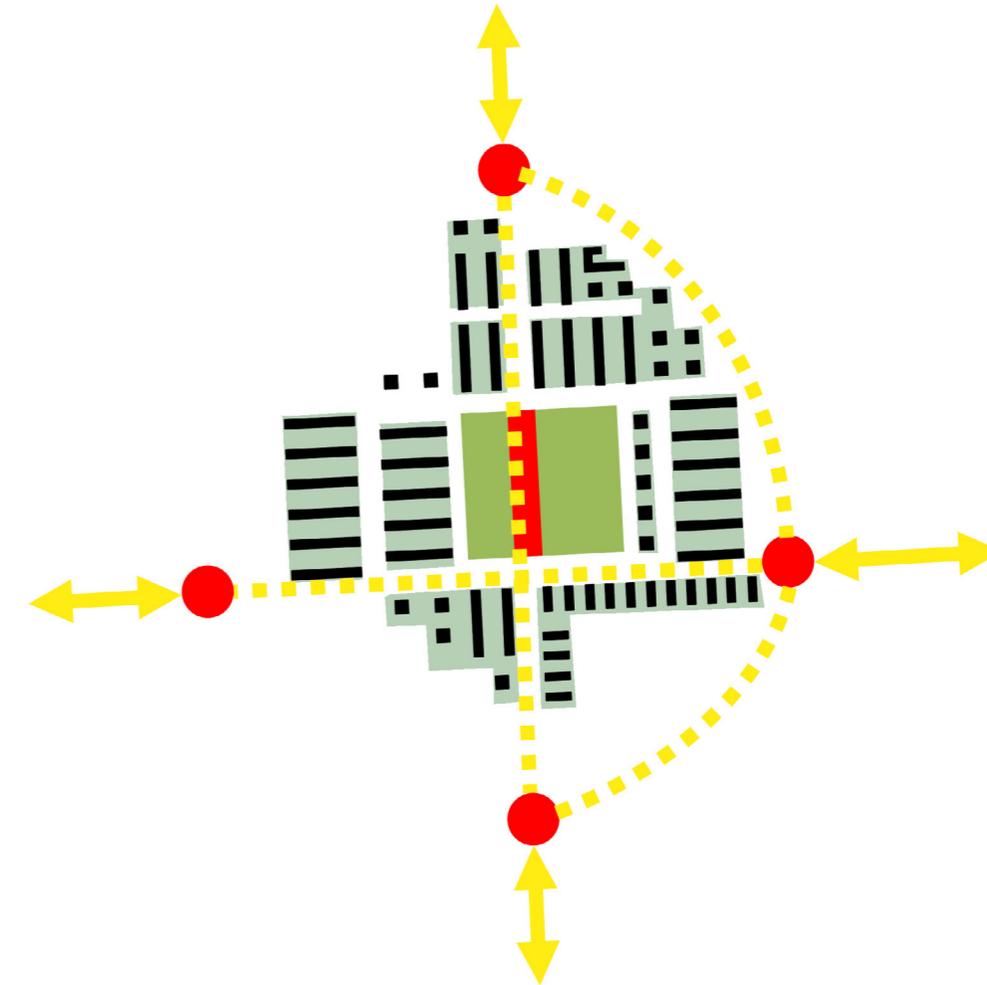


Figura 34 | Proposta.  
Descentralização de alguns equipamentos;  
Usar o limite como meio de ligação entre a Portela e o território envolvente;  
Reordenação de estacionamentos, logradouros e pisos térreos;  
Libertar os pisos térreos para livre circulação;  
Cinturão com percurso verde que liga o centro a Portela ao território envolvente.

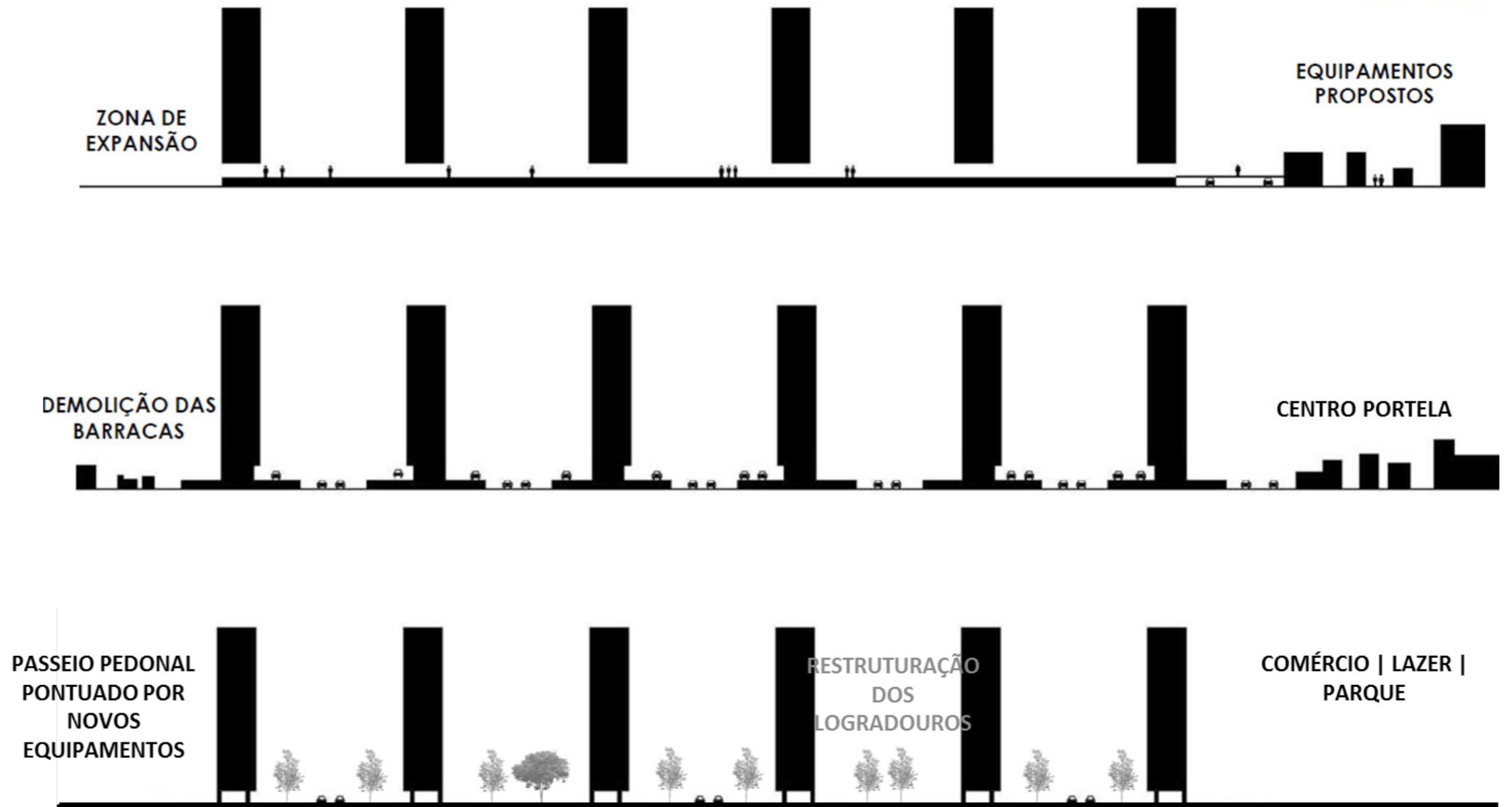


Figura 35 | Desenvolvimento da Urbanização da Portela de Sacavém. Imagem alterada com base em: FERREIRA, Bruno. André Macedo. Optimist Suburbia. Doutramento em Arquitectura.

-  Ciclo via
-  Parque Urbano - comércio | escritórios
-  Habitação | comércio
-  Piscina
-  Igreja | centro social
-  Escola Básica 1º, 2º e 3º ciclos Gaspar Correia

Figura 36 | Planta geral de grupo - propostas.



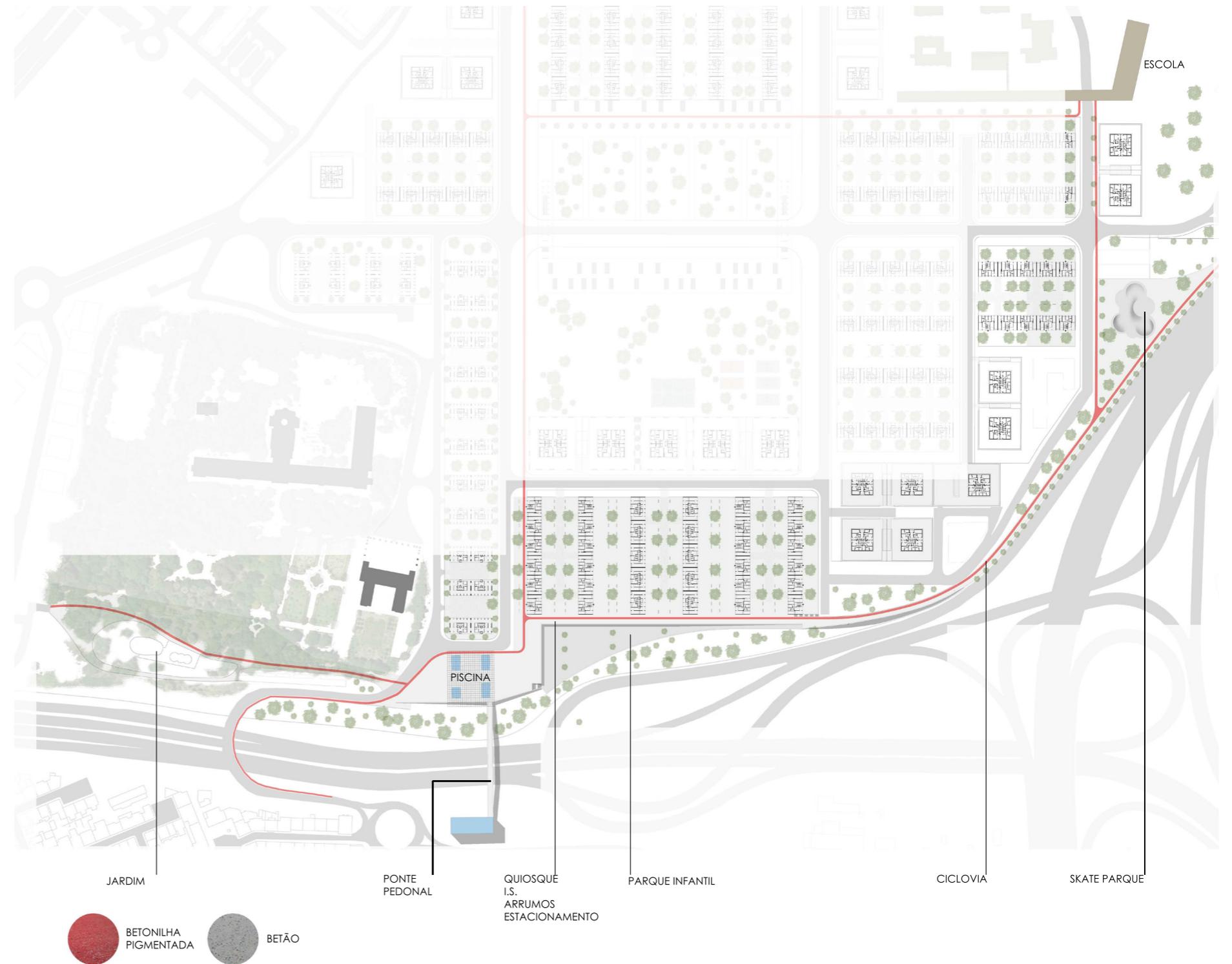


Figura 37 | Planta detalhe percurso | programas | rés-do-chão.

Habitar o limite criando um eixo verde percorrível de ligação entre os diferentes projectos (locais de limite) tornando o limite a forma de ligação entre a Portela e a envolvente.

Para tornarmos a Portela parte integrante de uma cidade temos que fazer com que esta tenha mais caminhos de ligação com as suas zonas adjacentes, havendo assim uma maior comunicação e fluidez.

**Proposta:** A proposta passa por a continuidade da Portela para a periferia e não tornar o seu centro o grande local onde todas as actividades centram-se. Propomos assim que o centro seja um grande parque verde na qual recebe o metro, ideia que propomos como forma de integrar a Portela na cidade aparecendo como plano de expansão do metro de Lisboa até 2030. Associado ao metro apresentado na figura 44 e 45 estará toda a zona de comércio e zona de escritórios rodeada de espaço verde com alguns recantos de recreio/ lazer.

É proposto uma ideia de permeabilidade dos espaços dos logradouros para a rua, permitindo a circulação livre do peão, dando maior destaque a este.



Figura 38 | Planta detalhe parque urbano.

**Programa:** O programa a repor é implantado nos 4 nós de ligação entre a Portela e a envolvente (Norte, Sul, Este e Oeste) que ligam-se com todo um percurso verde criado entre essas diferentes ligações.

A Norte criamos um centro escolar onde já existe a Escola Secundária da Portela e a Escola Básica 2, 3 ciclos Gaspar Correia, onde fazemos uma requalificação e ampliação da Escola Básica 2, 3 Gaspar Correia para receber o 1º ciclo que estava no centro. Nesta zona temos duas ligações, sendo uma para Sacavém e outra para o Prior Velho.

A Este propomos a implantação das piscinas associado a ginásio, com ligação para Moscavide. Nesta zona retiramos o Jardim e Creche da Freguesia de Moscavide e a Escola Quinta da Alegria - Moscavide - de 1º ciclo e J.I. e propomos a sua reposição a Sul mais próximo de Moscavide.

A Sul para além da reposição do Jardim e Creche da Freguesia de Moscavide e da Escola Quinta da Alegria - Moscavide - de 1º ciclo e J.I. propomos também rematar uma zona de habitação.

A Oeste temos a igreja associada a um centro social, que vai de certa forma integrar-se na zona em que encontramos três classes sociais diferentes: a habitação social, a habitação dos ciganos e a habitação classe média/ alta da Portela.

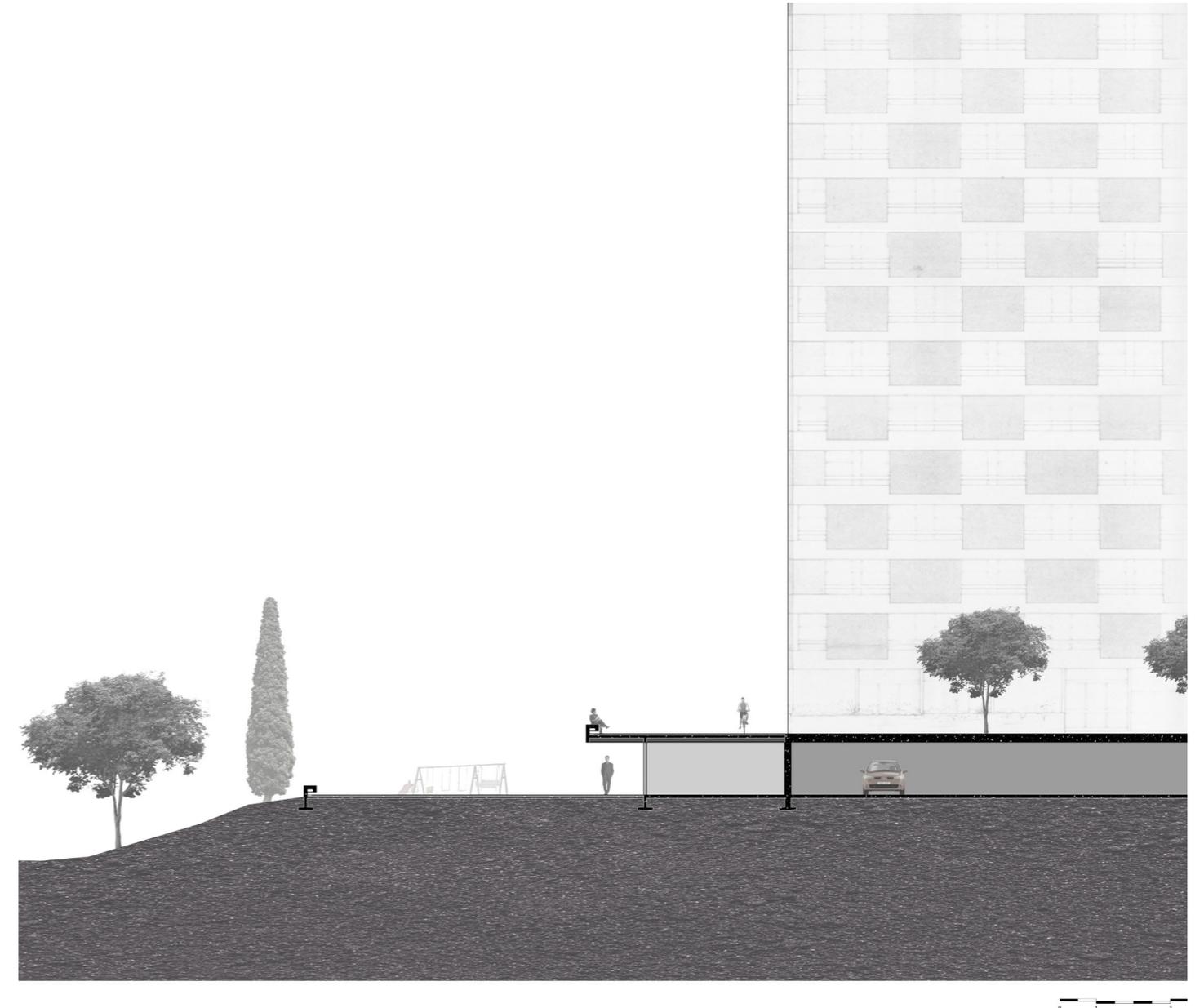


Figura 39 | Habitar as plataformas.

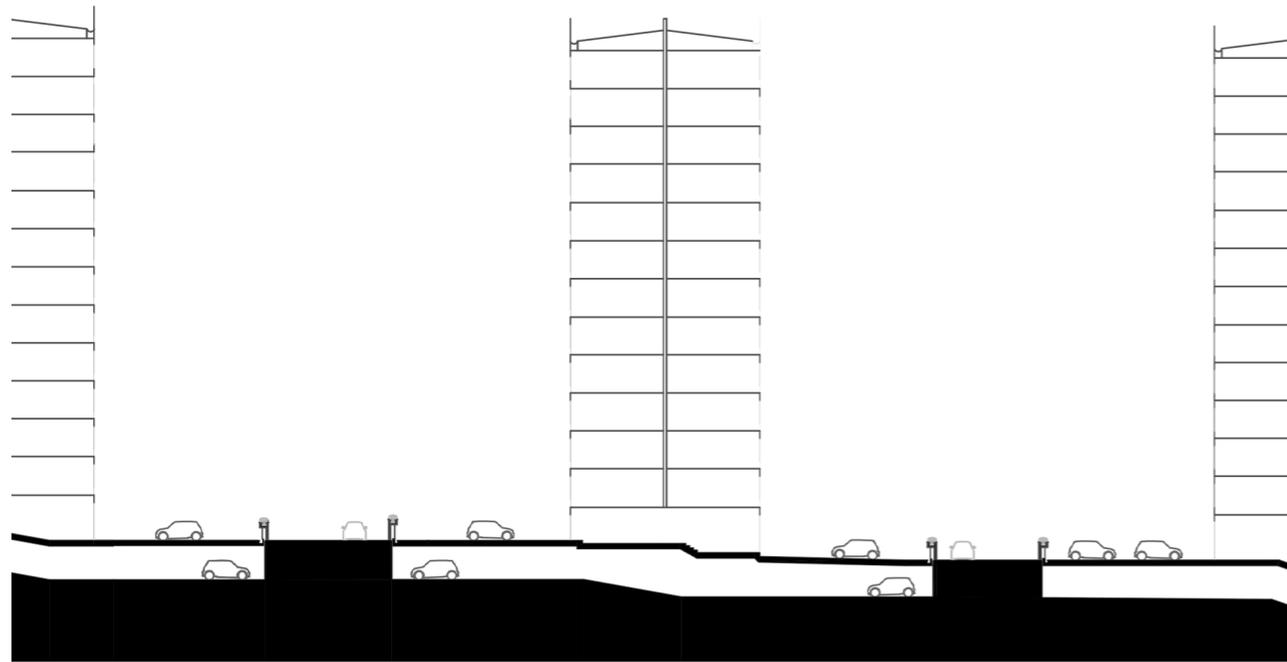


Figura 40 | Corte tipo existente da Urbanização da Portela. 0 5 10 20 50

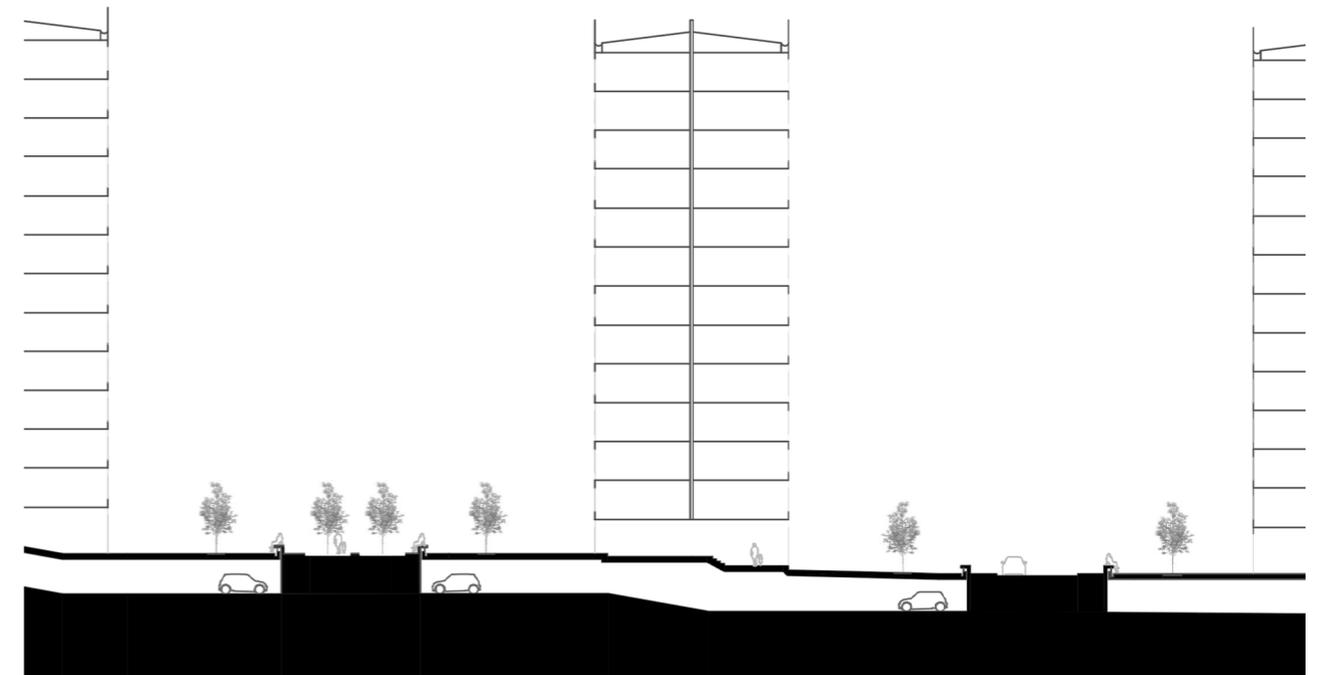


Figura 41 | Corte tipo proposto para Urbanização da Portela. 0 5 10 20 50

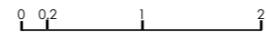
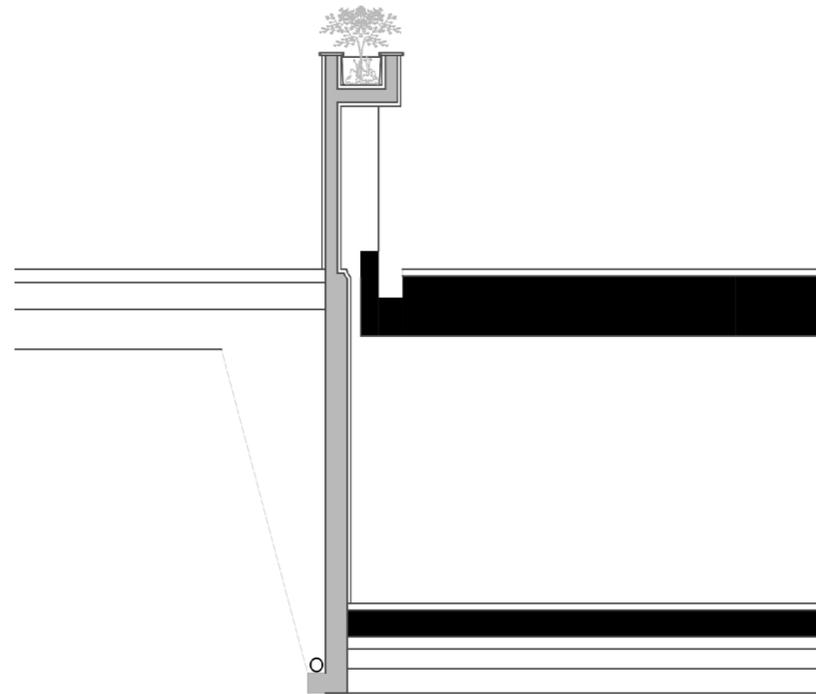


Figura 42 | Corte construtivo tipo existente da Urbanização da Portela.

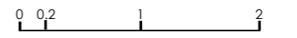
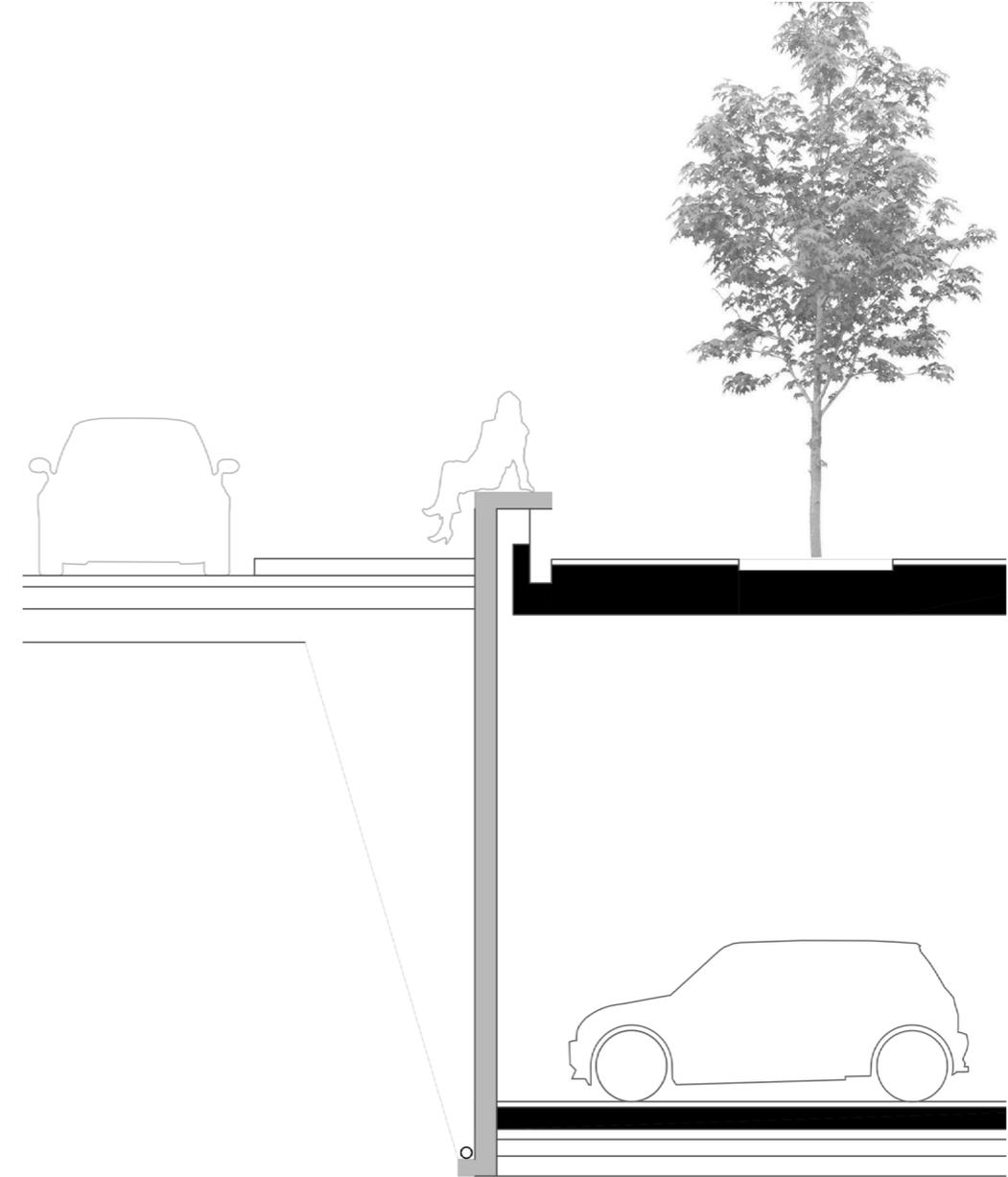
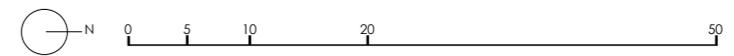


Figura 43 | Corte construtivo tipo proposto para Urbanização da Portela.



Figura 44 | Plantas da proposta da construção do metro no centro da Urbanização da Portela.



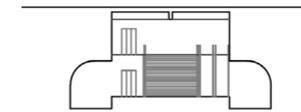


Figura 45 | Corte 1 | 1`.

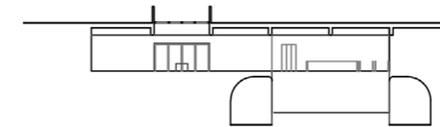


Figura 46 | Corte 2 | 2`.

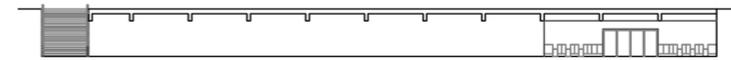


Figura 47 | Corte 3 | 3`.

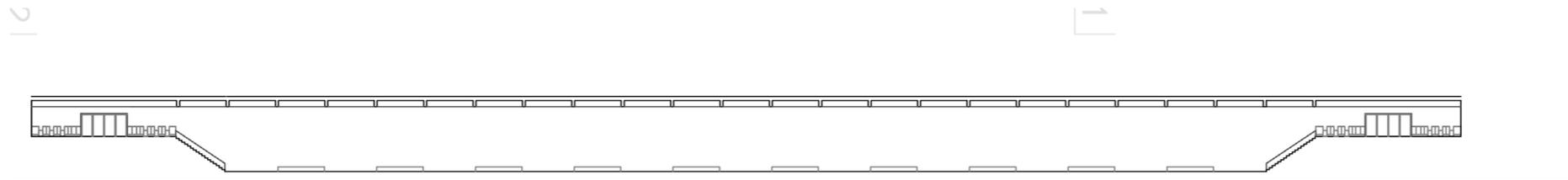


Figura 48 | Corte 4 | 4`.

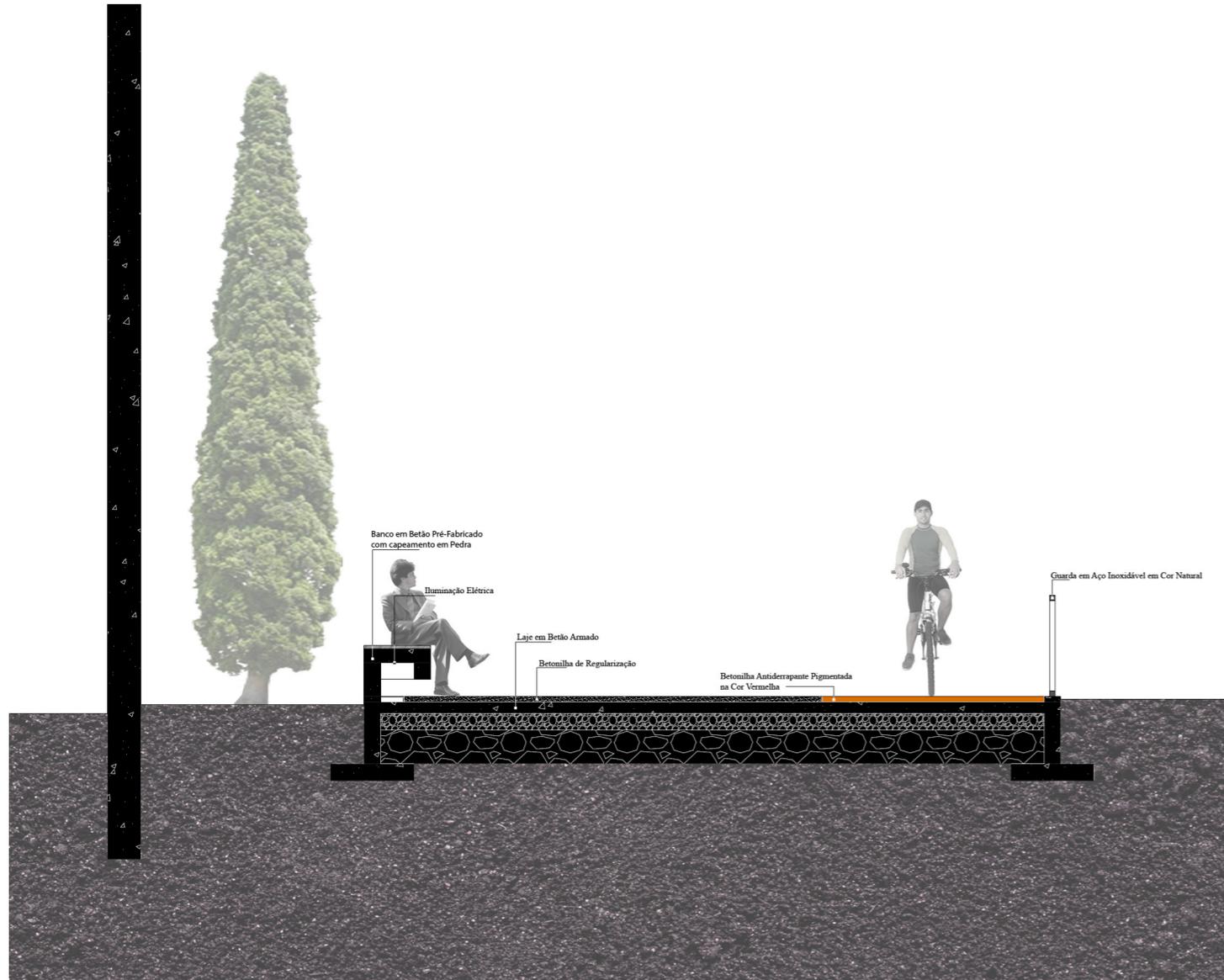


Figura 49 | Percurso verde com muro de limitação.

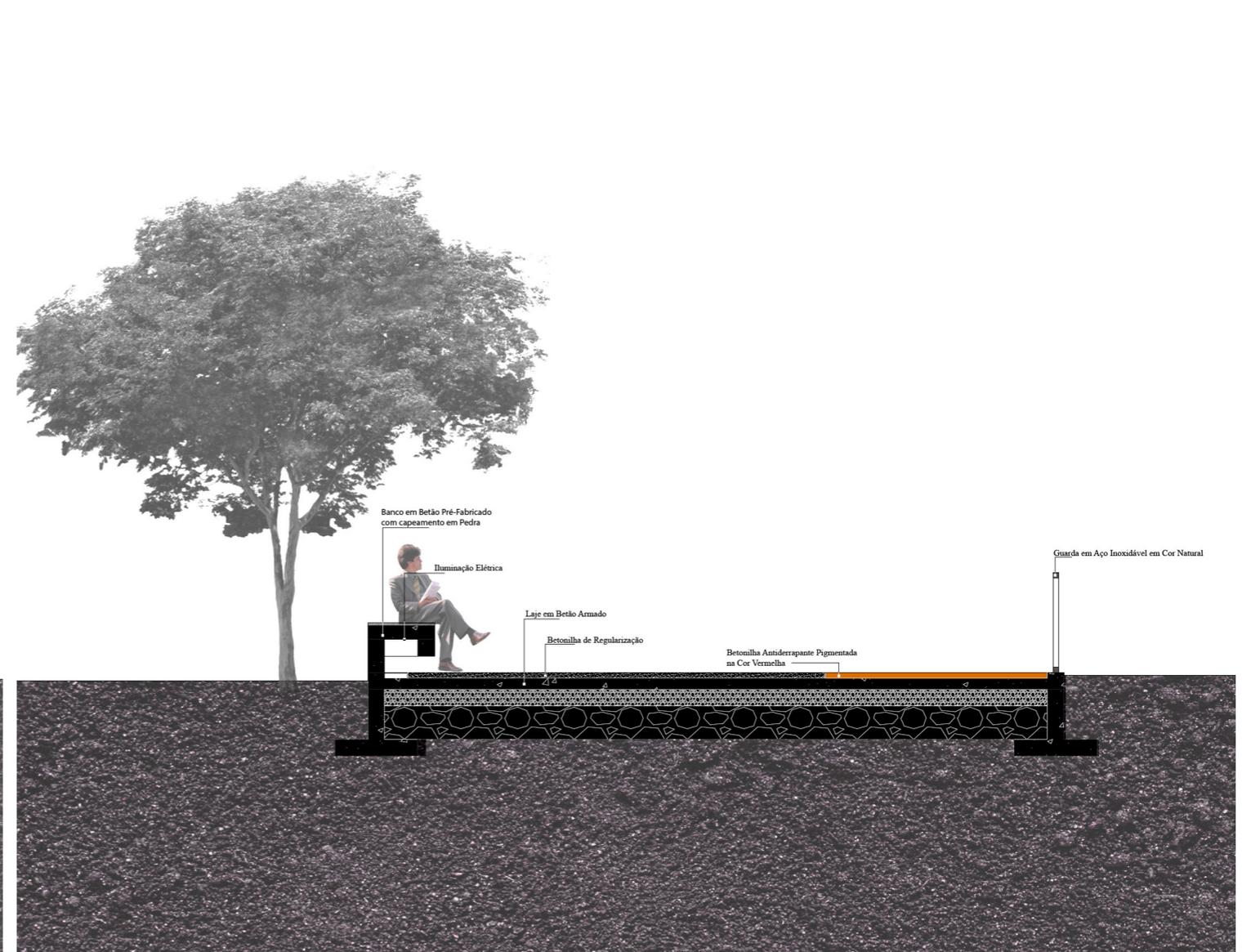


Figura 50 | Percurso verde sem muro.





Figura 51 | Percorso verde - parque infantil.

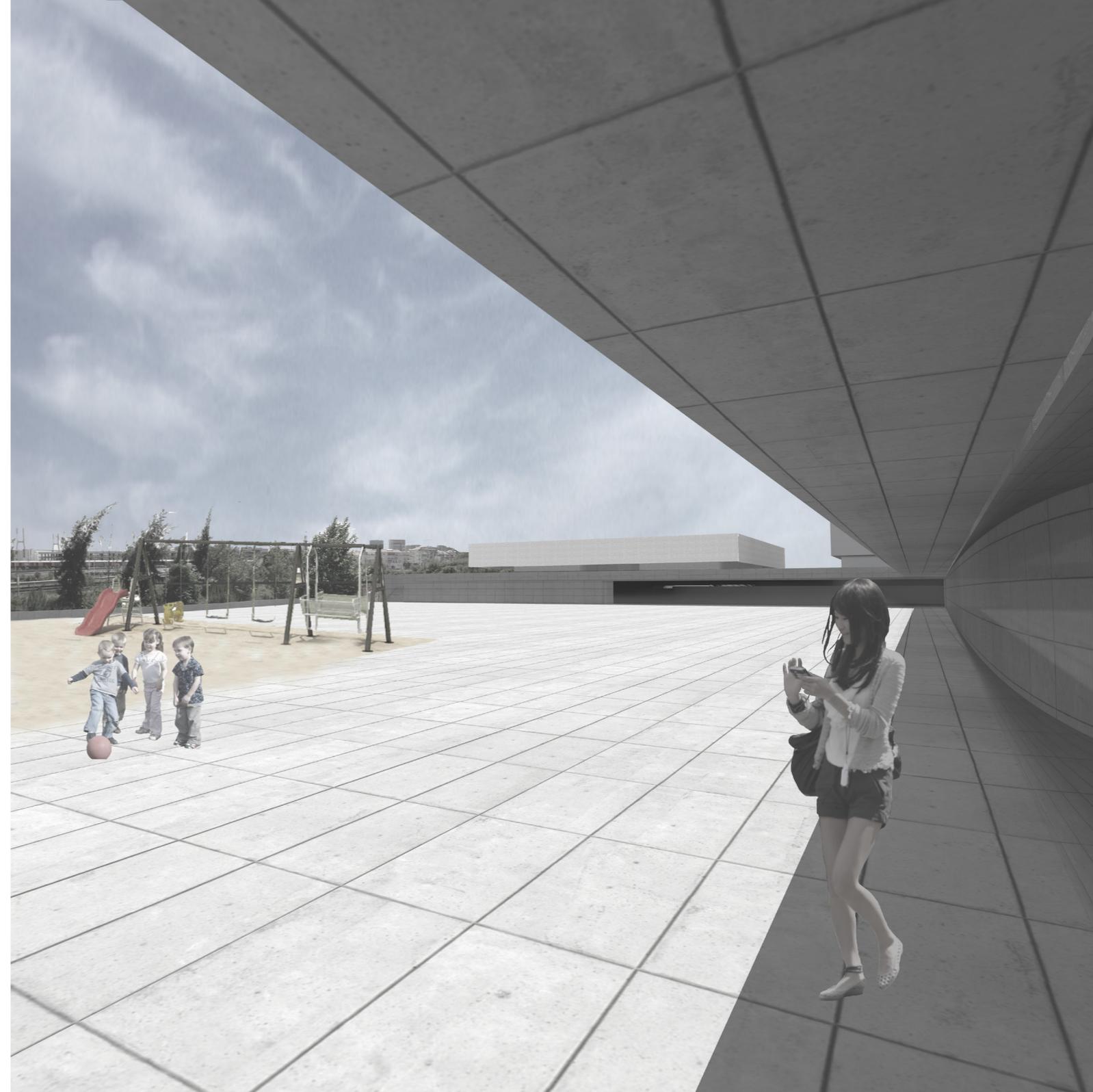


Figura 52 | Percorso verde - parque infantil - pala | prolongamento do logradouro edificio da Portela.

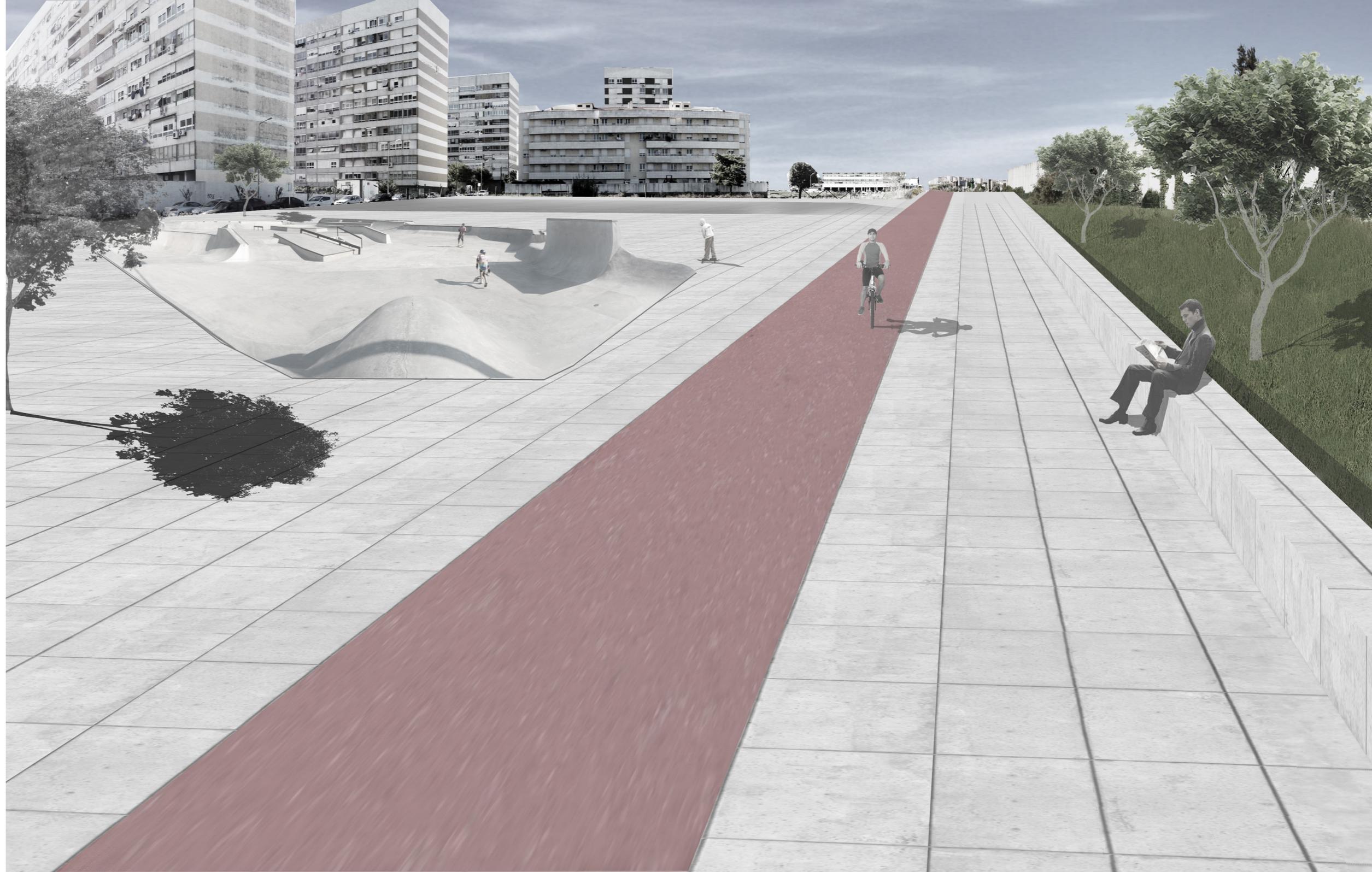


Figura 53 | Percorso verde - skate parque.



**I.b.**  
PROJETO INDIVIDUAL  
**ENQUADRAMENTO**



Figura 46 | Orto foto mapa actual



Figura 54 | Orto foto mapa com proposta.

- 1 | Escola Secundária da Portela
- 2 | Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia
- 3 | Proposta - Escola 1º ciclo
- 4 | Proposta - Biblioteca pertencente às Escolas e pública à população

Proposta de Requalificação e Ampliação Escola Básica EB 2, 3 Gaspar Correia  
 Autor Projecto: Arquitecto Augusto Pereira Brandão

### Existente

Uma Escola do século XVIII, com alguns problemas de conservação. Uma Escola que vive de relações entre interior e os seus pátios exteriores.

### Estratégia Global

Requalificação da Escola Gaspar Correia e a sua ampliação. Tal como pode-se observar na figura 55 existem duas escolas sendo uma delas a Secundária da Portela e a outra Básica do 2º e 3º ciclos. Estas encontram-se separadas por uma rua, a Avenida das Escolas fazendo com que não haja ligação entre elas e entre cotas altas e baixas do local.

O objectivo é criar um núcleo escolar unificado e contínuo nesta zona que já é reservada às actuais escolas, requalificando todo o espaço e a Escola Gaspar Correia.

O núcleo escolar ficará desta forma composto pelo 1º, 2º e 3º ciclos dos Básico e pelo secundário.

A grande requalificação nesta zona para além do próprio programa criado é a abertura de uma via mais ou menos perpendicular à Avenida das Escolas que permite um percurso direto entre o parque verde criado no centro da Portela, onde existe a saída do metro, comércio e escritórios.

### Áreas brutas/ Programa Existente:

Blocos para as salas de aulas

Bloco A – 830,58m<sup>2</sup>

Bloco B – 765,68m<sup>2</sup>

Bloco C – 822,02m<sup>2</sup>

Bloco D – 799,48m<sup>2</sup>

Bloco F – 1089,17m<sup>2</sup>



Figura 55 | Cartografia com sinalização vias que ligam a Escola Gaspar Correia à envolvente.

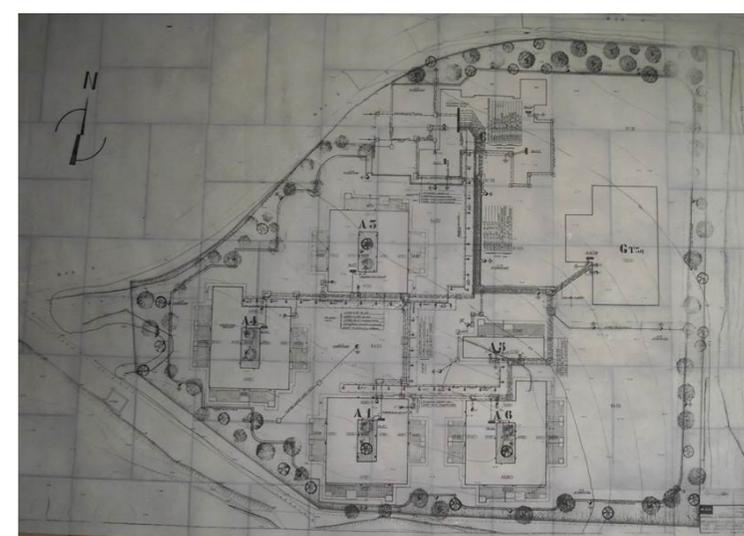
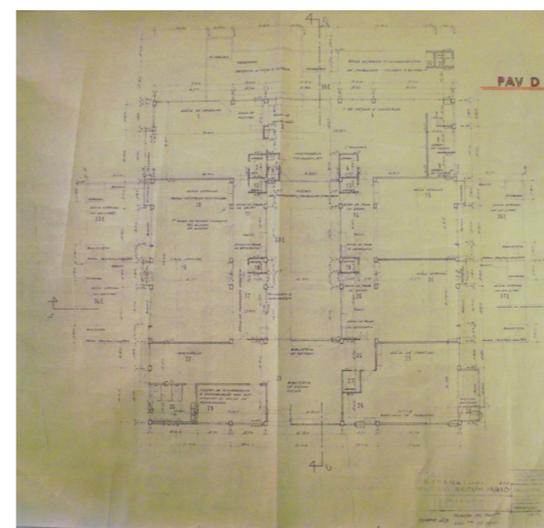
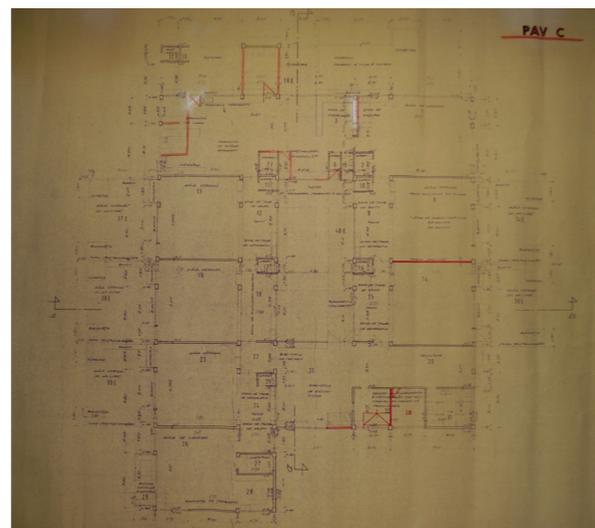
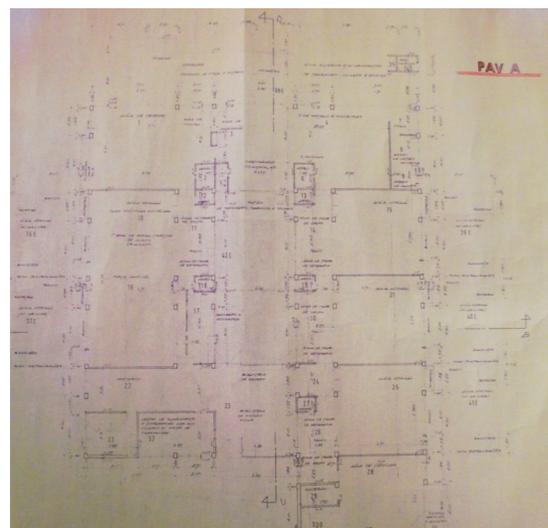


Figura 56 | Plantas antigas dos blocos da Escola Gaspar Correia e do conjunto.

Figura 57 | Imagem da diferença de cotas entre a cota alta da escola e a cota baixa residencial.





Figura 58 | Imagens da Escola E.B.2,3 Gaspar Correia | relações entre coberto e descoberto.



Figura 59 | Imagem relação Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia com a Urbanização da Portela.



Figura 60 | Imagem Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia | imagem de Susana Neves.

“Trabalhar o terreno significa hoje, como sempre, colaborar com a sua morfologia, mas significa sobretudo utilizá-lo como matéria de composição. Matéria de composição em que este é algo mais do que um suporte. Mais do que ser uma fundação, o terreno pode hoje ser parte do próprio edifício. E o edifício, mais do que um objeto pousado ou encaixado no local, com mais ou menos preocupações contextualistas, é parte desse terreno, desse local e desse contexto.”<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> RODRIGO, Sérgio Fazenda. 2009. p.52.

## II. PROPOSTA

### Descrição da Escola

A Escola encontra-se organizada em 7 blocos diferentes tal como pode-se observar na figura 49 de 1973.

Os blocos actualmente são designados de Bloco A, Bloco B, Bloco C, Bloco D, Bloco E, Bloco F (polivalente) e Bloco G (ginásio).

### Subtracção

Com o objectivo de criar programa que sirva as duas escolas mas que ao mesmo tempo as separe para não haver o cruzamento da escola secundária com a básica subtraio o ginásio e o bloco E da Escola Gaspar Correia que corresponde ao bar de professores e alunos (figura 61).

### Adição | Usar o novo

Os dois edifícios que são os edifícios suportam dois programas de grande importância numa escola que são os espaços comuns a todos os alunos.

O edifício proposto pretende definir-se como espaço fortemente relacionado com os espaços exteriores adjacentes, articulando as cotas mais altas e baixas em que as duas escolas se implantam.

Esse edifício alberga o 1º ciclo de duas escolas - Escola E.B1/J.I. da Portela e Escola Quinta da Alegria - Moscavide 1º ciclo e J.I., sendo que as turmas de jardim de infância serão deslocadas para um outro equipamento apenas destinado a estes.

Esta escola proposta pretende assim fazer um elo de ligação com as escolas já existentes através da parte da escola criada e da parte mais pública da escola que é a biblioteca. Esta biblioteca pretende servir as 3 escolas e a comunidade.

Para além destas ligações diretas existe uma procura do entendimento entre o existente na Escola E.B 2,3 ciclos Gaspar Correia e a nova proposta.

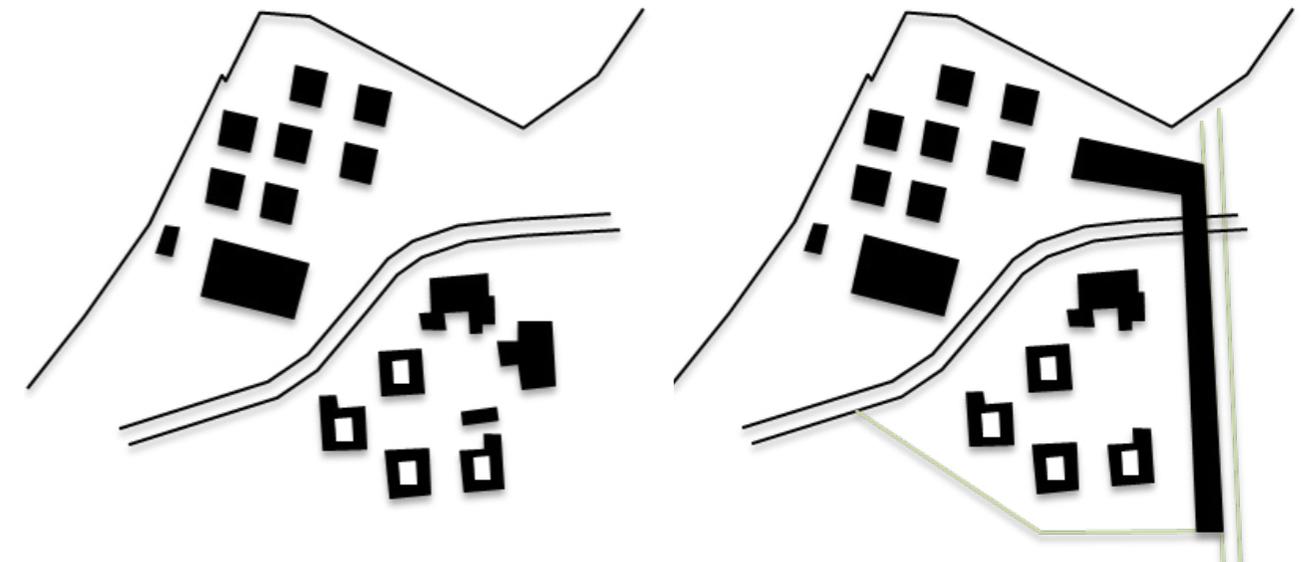


Figura 61 | Diagramas (esquerda | diagrama existente e direita | diagrama proposta).

### Estratégia do edifício | Resposta ao local e ao programa

Esta intervenção surge através de um alinhamento entre dois edifícios da Portela representados na figura 62 | 63 e do próprio percurso marcado no chão que mostra a necessidade das pessoas em utilizar este caminho inexistente, que no fundo é uma marca da necessidade do dia-a-dia. Surgirá com esta intervenção o que será o ponto principal de ação do projeto, que passa sobretudo pelo desenho e qualificação desta zona periférica da Portela, que passa a ser delimitada por um novo edifício que abre uma estrada de ligação, permitindo a melhor circulação. Este novo edifício que alberga um novo programa que centra uma atividade e um fluxo das pessoas da escola, alunos, docentes e funcionários.

Este conjunto de espaços que se ligam criam diferentes espaços:

1 | Entrada da Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia passa a ser feita pelo átrio da nova escola do 1º ciclo, na cota mais baixa (cota da rua), que por sua vez é também a cota de entrada da biblioteca;

2 | Ligação entre as duas escolas, para acesso dos alunos à Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia;

3 | Recreio coberto - piso 2 - cria um conjunto de espaços de permanência e de brincadeira das crianças que faz ligação com o recreio descoberto na mesma cota, com relação visual com a Escola EB. 2,3 ciclos Gaspar Correia e com passagem para a zona da biblioteca;

4 | Espaços comuns - espaço polivalente, refeitório e secretaria são espaços comuns a estas duas escolas;

5 | Ligação com a Escola Secundária da Portela é uma ligação indireta, pois o objetivo não é o encontro entre os alunos da escola básica e da escola secundária mas sim ter um programa que seja comum às três escolas e que seja acedido pelas mesmas e pelas comunidade.

Os espaços de uso coletivo, assim como os espaços desportivos são aproveitados para o uso das três escolas, fazendo com que funcione como um núcleo escolar.



Figura 62 | Marcação de um percurso e alinhamento de referência.

Figura 63 | Marcação de um percurso de acesso à escola e barreira existente.



-  Ciclo via
-  Parque Urbano - comércio | escritórios
-  Habitação | comércio
-  Piscina
-  Igreja | centro social
-  Escola Básica 1º, 2º e 3º ciclos Gaspar Correia

Figura 64 | Planta geral de grupo - propostas.



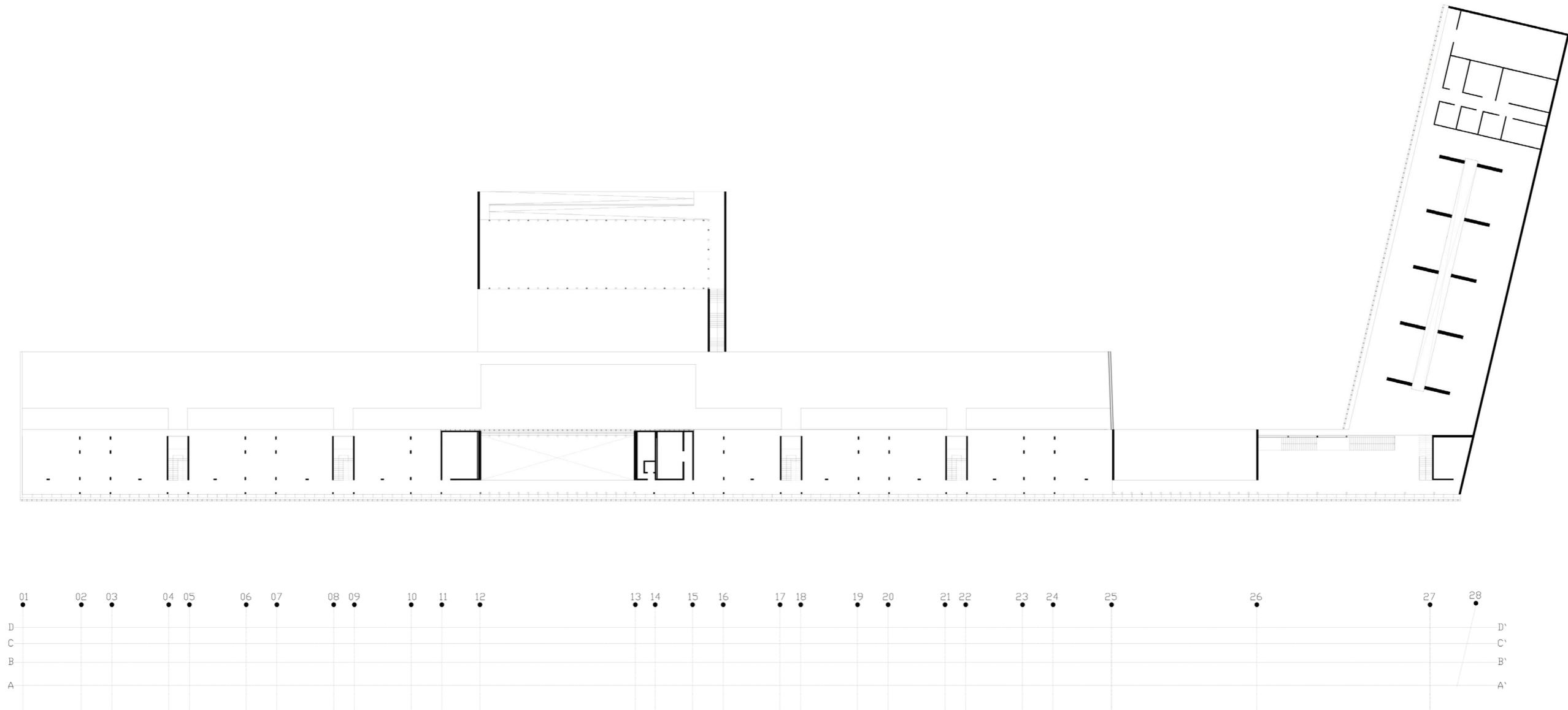


Figura 65 | Planta da estrutura e marcação da estrutura.

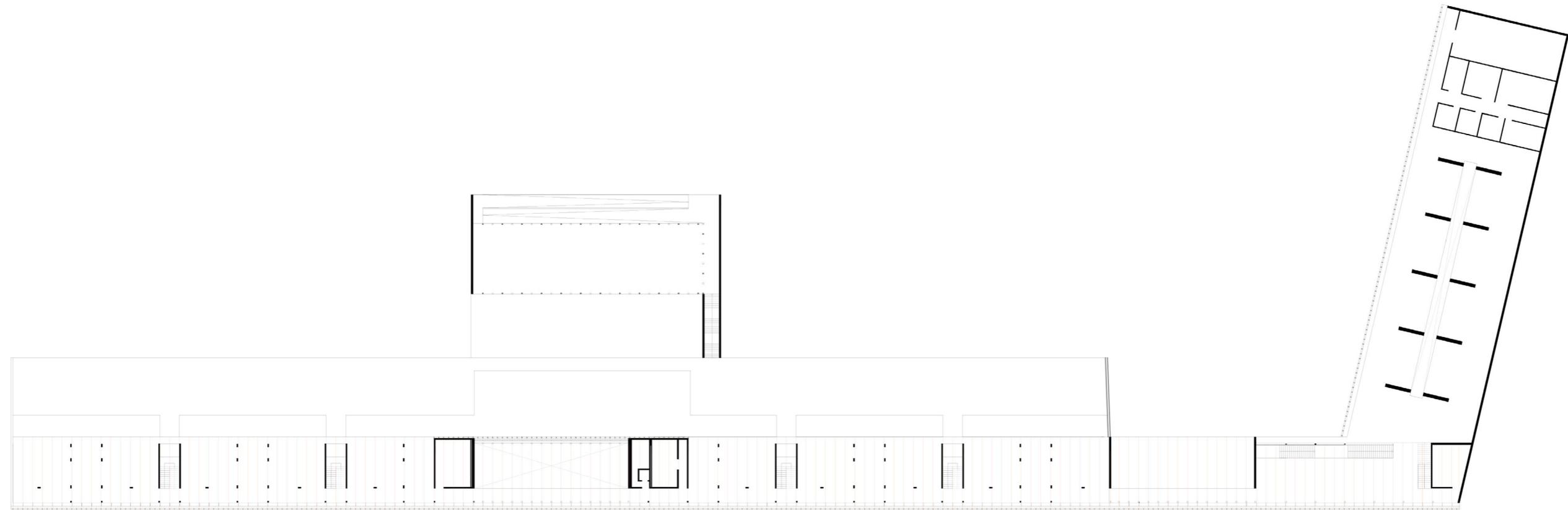
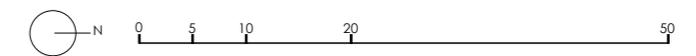


Figura 66 | Planta marcação da métrica para toda a estrutura do edifício.



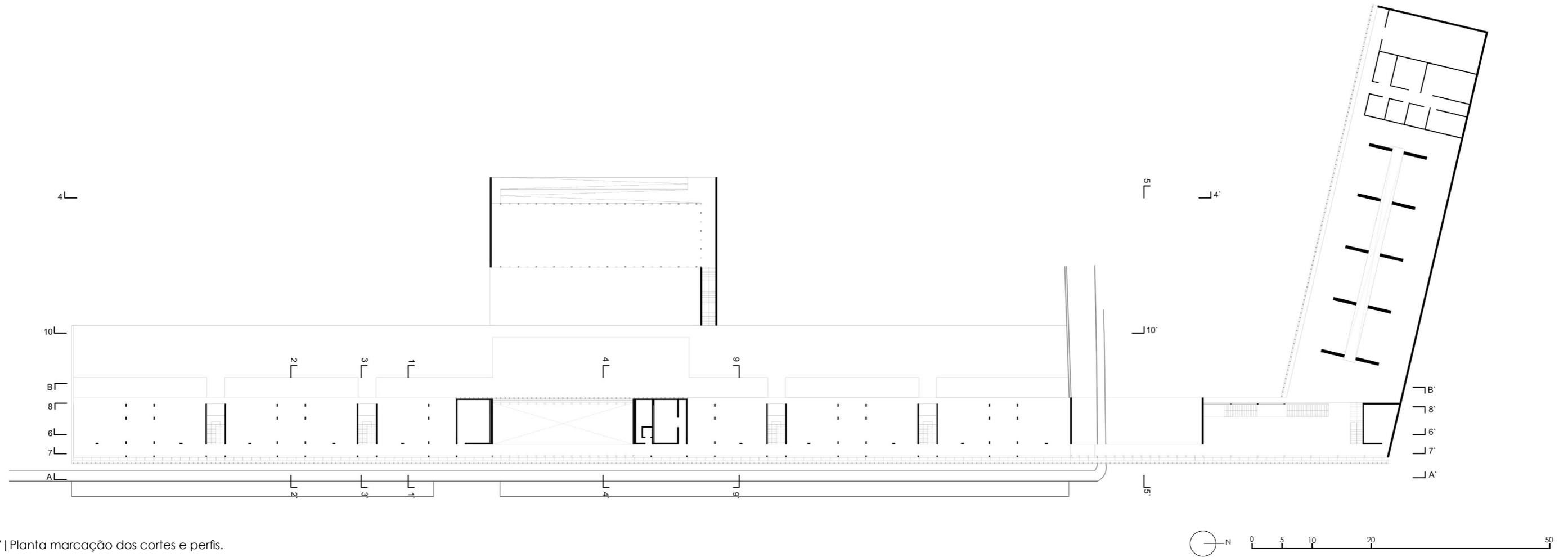


Figura 67 | Planta marcação dos cortes e perfis.

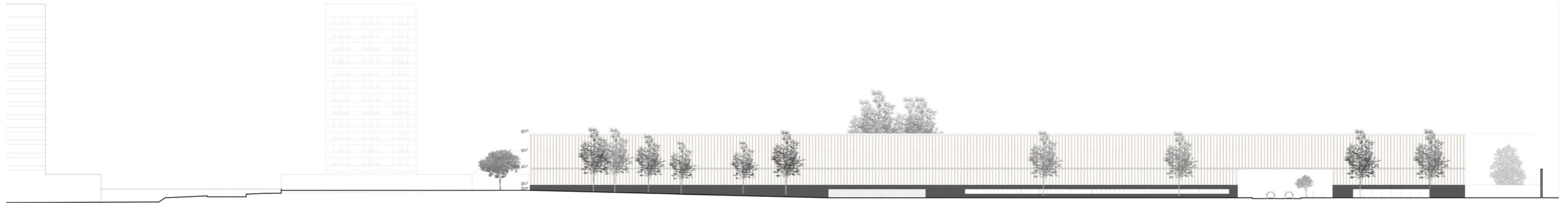


Figura 68 | Perfil A | A` - Alçado Este.

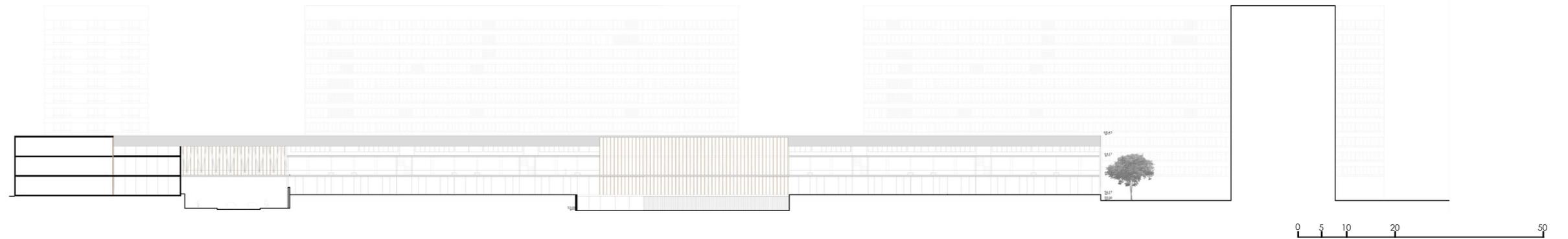


Figura 69 | Perfil B | B` - Alçado Oeste.

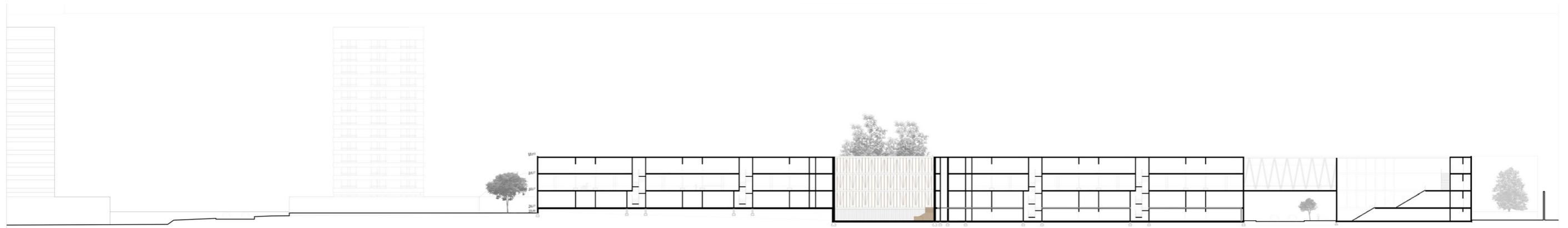


Figura 70 | Corte longitudinal 6 | 6`.

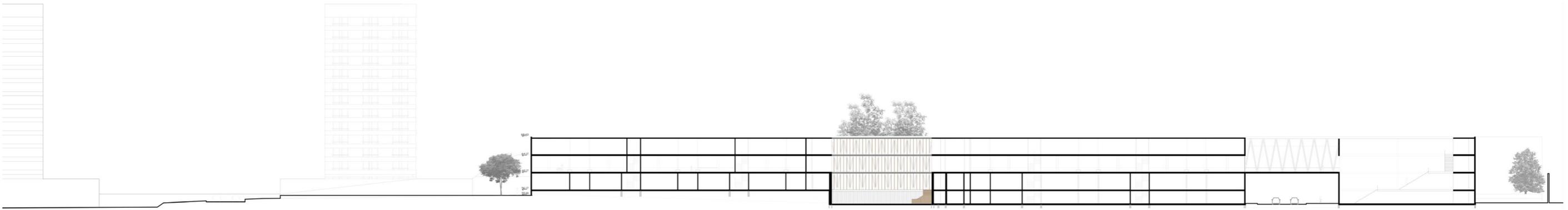


Figura 71 | Corte longitudinal 7 | 7`.

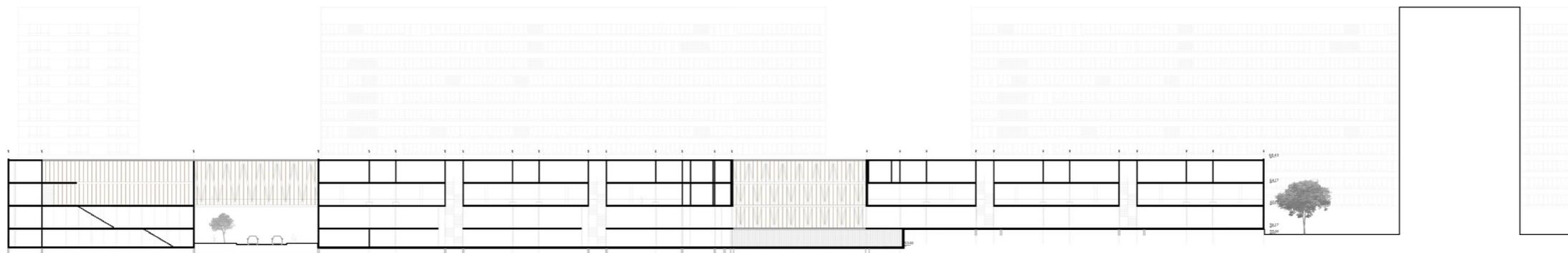


Figura 72 | Corte longitudinal 8 | 8`.



### **Estrutura do edifício**

A nível estrutural o edifício é caracterizado dois momentos distintos, sendo que por um lado existem uma estrutura pesada em betão armado, que em grande parte aparece com cofragem em madeira e por outro uma estrutura leve metálica.

A estrutura pesada em betão armado aparece com pilares e paredes em betão atravessam os 3 pisos do edifício ou os 4 pisos do edifício (na zona mais alta). As zonas em betão armado com cofragem em madeira aparecem nos espaços de circulação dos alunos (interior da escola) e na circulação exterior (estrada | alçado Este). Nas circulações dos corredores essa estrutura do betão é visível nos tetos que é conseguida através de lajes fungiformes.

A estrutura leve surge em dois momentos de exceção da escola - átrio de entrada e passagem para a biblioteca. Este tipo de estrutura mais leve aparece como solução para a passagem entre a escola e a biblioteca, sendo depois aplicada também no átrio de entrada permitindo um pé direito com a altura total do edifício.

Esta estrutura leve é por sua vez aplicada em outros dois grandes momentos da escola que são as suas duas fachadas, Este e Oeste que são caracterizadas por elementos leves que funcionam também como elementos de sombreamento.

A fachada Este que marca a estrada é definida por um sistema de sombreamento em ripado de madeira seguro por uma estrutura metálica recuada. A fachada Oeste que encontra-se virado para a Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia, através de uma membrana avançada em relação à estrutura pesada do edifício.

Ambas as estruturas - pesada, leve e ripado de madeira - são determinadas segundo uma métrica longitudinal de 1,5m.

### **Átrio de entrada**

O átrio de entrada comum às duas escolas é o grande momento de entrada e de ligação entre duas alas de salas de aula, que por sua vez divide em parte as diferentes turmas pelos seus respetivos anos letivos.

Este espaço de entrada tem o pé direito correspondente à altura total do edifício dando a conhecer momentos de circulação que acontecem em todos os pisos da escola e funciona como um espaço semi-fechado, pois é coberto mas permite ventilação através das duas fachadas Este e Oeste, possibilitando uma permeabilidade no momento de entrada.

Esta zona de entrada marca fortemente o percurso na rua que é criada por ser um grande embasamento em betão armado com cofragem em madeira, em que tudo que está para cima disto é mais leve.

Este átrio além de dar acesso ao piso seguintes das salas de aula, dá acesso a uma ala onde encontram-se espaços comuns das duas escolas - secretaria, sala de professores, papelaria e reprografia, sala de apoio ao aluno (com enfermaria e apoio social) e sala de reuniões de pais ou de professores. No início desta ala existe uma ligação para os alunos da Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia.

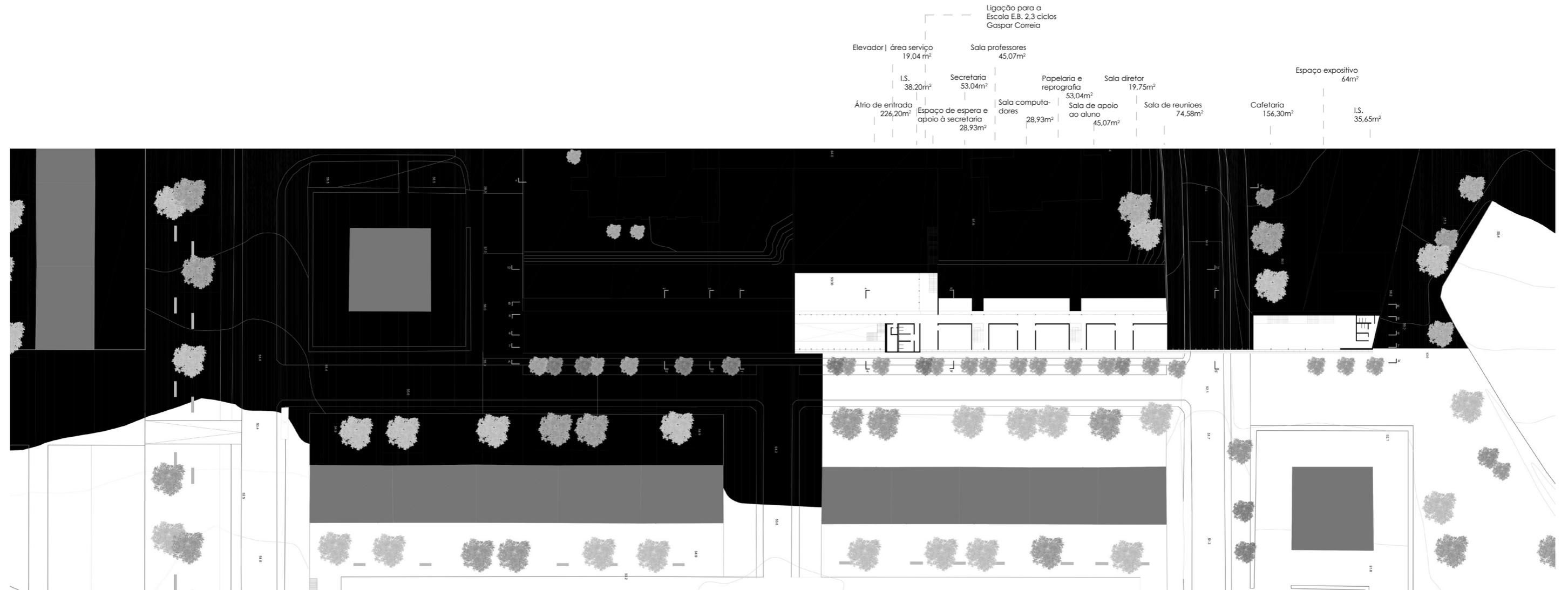


Figura 73 | Planta piso 0 - cota 53.

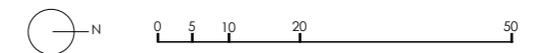




Figura 74 | Imagens salas de aula Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia.

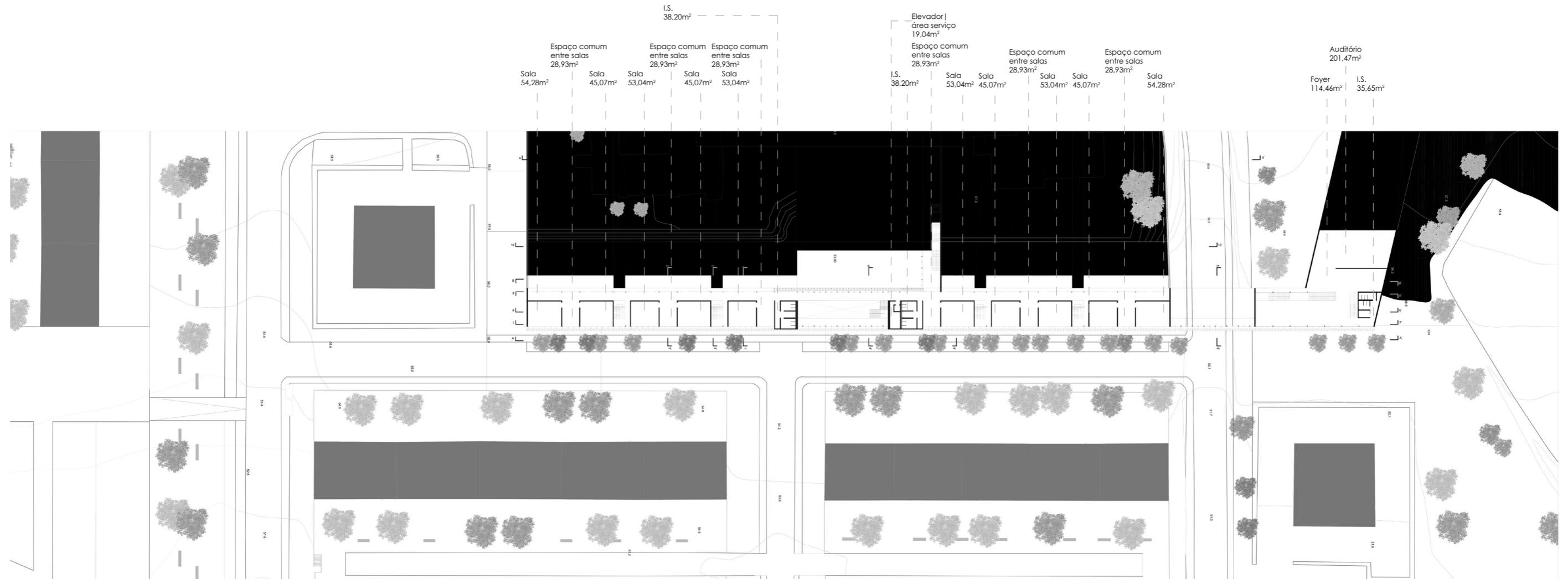


Figura 75 | Planta piso 1- cota 56.

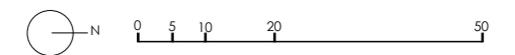




Figura 76 | Imagens do recreio da Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia.

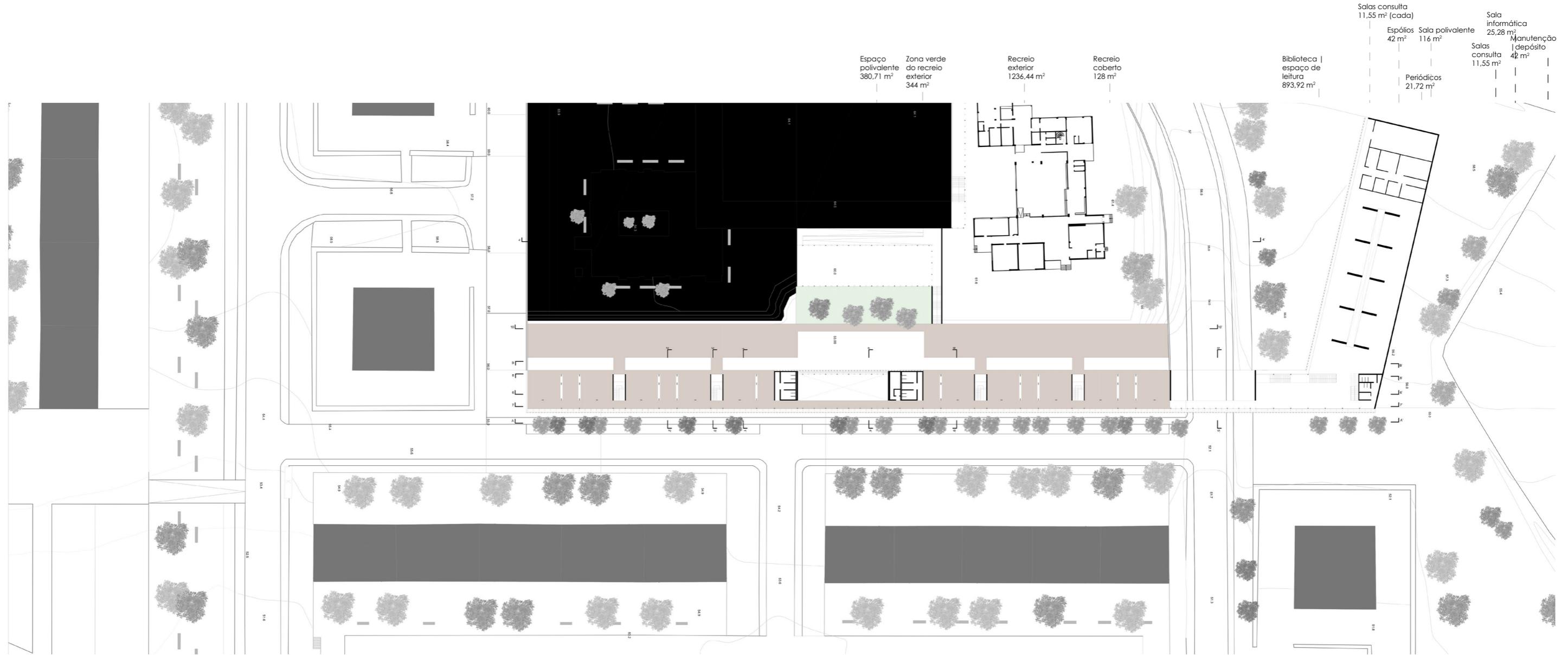


Figura 77 | Planta piso 2- cota 60.



### **Biblioteca**

A biblioteca é o programa que pretende responder a uma necessidade de programa tanto para as escolas como para a comunidade, sendo desta forma uma biblioteca pública. Esta por sua vez é o programa de ligação entre as escolas básicas e a secundária, através do seu segundo piso.

A estrutura de entrada na biblioteca na cota mais baixa - cota 53 é desenvolvida em estrutura metálica como forma de obter um grande pé direito como acontece na entrada da escola. O resto do corpo da biblioteca é em estrutura em betão armado. Existe uma estrutura de instalações sanitárias que encontrasse organizada de forma alinhada em todos os pisos e uma estrutura leve metálica e em madeira que resolve um sombreamento em toda fachada dos espaços de leitura da biblioteca.

No piso 0 é organizado por uma cafetaria que abre-se para um espaço verde tal como o espaço expositivo com um pé direito duplo.

O piso 1 é organizado por um momento de chegada dos alunos da escola secundária e pelo auditório.

No piso 2 existe a ligação da escola através de um passadiço e nesta encontrasse uma organização da parte da biblioteca dos adultos. No piso 3 também existe um espaço de consulta, trabalho e leitura mais destinada aos jovens.

A nível estrutural estes grandes espaços de leitura da biblioteca encontram-se organizados por grande pilares que marcam o espaço e que por sua vez contém as parteleiras dos livros e espaços de mesas.

### Salas de aula

As salas de aula encontram-se em dois pisos do edifício, separadas por duas alas que são ligadas por uma espécie de passarelas suspensas, em estrutura metálica agarradas por tirantes à cobertura. Entre os dois pisos de salas de aula existe um grande espaço comum entre elas que é o recreio coberto.

A relação entre as salas de aula e o exterior (estrada e Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia) é de grande importância para a sua orientação. As salas da cota mais baixa (piso 1 - cota 56) encontram-se orientadas na Este viradas para a rua, pois a este cota para o lado da escola não existe uma boa relação visual devido à diferença de cotas, o que não permitiria uma boa entrada de luz e ventilação para as salas de aula. As salas do último piso à cota 64, contrariamente as do piso 1, encontram-se orientadas a Oeste com grande relação visual para a Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia.

As salas são pensadas para cerca de 27 | 28 alunos.

O ambiente das salas de aula procura um conforto que é adquirido através da escolha dos materiais e dos vãos. A altura do peitoril para os vãos encontra-se a uma altura de acordo com a altura da mesa dos alunos, permitindo uma boa relação visual para o exterior, com maior permeabilidade entre o que acontece na rua e na sala de aula. Este vãos são de correr e têm uma altura desde o peitoril até ao teto. O desenho do teto falso nas salas tem grande influência destes vãos, pois pretende com que o ambiente exterior seja refletido para o interior. A madeira é utilizada como acabamento do peitoril, no teto falso e no próprio pavimento.

As salas de aula não são acedidas pelo corredores, libertando este de aberturas, mas sim através de um espaço comum a cada duas salas de aula que é um espaço de apoio às salas, onde podem estar os alunos antes das aulas a espera do professor, ou mesmo a fazer alguma atividade da aula.

### Recreio coberto

O recreio coberto resulta de um piso intermédio entre dois pisos de salas de aula. Este surge entre estes dois pisos também para resolver uma questão que é a falta de espaço para resolver o programa. Este piso encontra-se também a esta cota para coincidir com a cota do recreio exterior desta escola, sem entrar em contato direto com o recreio da Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia.

Existe uma certa divisão de espaços no recreio coberto que por sua vez mostram a estrutura do mesmo. Estas divisões são feitas através de grandes bancos em madeira entre que englobam os pilares da estrutura e pelas próprias paredes estruturais em betão armado com cofragem em madeira.

Estes espaços tem como objetivo a criação de diversos espaços num recreio coberto alguns com mesas e outros sem para diferentes atividades dos alunos e até a possibilidade de serem trazidos para estes espaços em algumas aulas de âmbito mais exteriores

O recreio das duas escolas é o momento comum, central mas organizado em duas cotas distintas.

O recreio coberto da Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia é repensado tendo uma continuidade da escola criada, através de uns telheiros com uma estrutura em treliça.

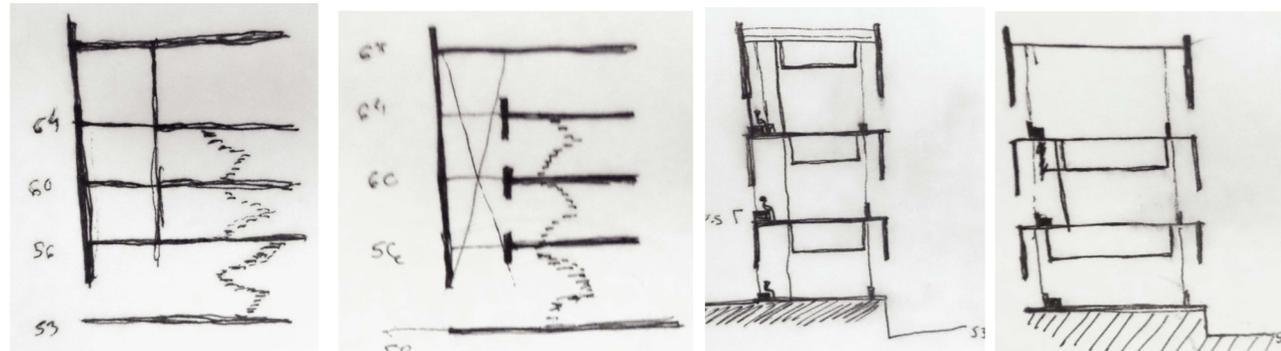
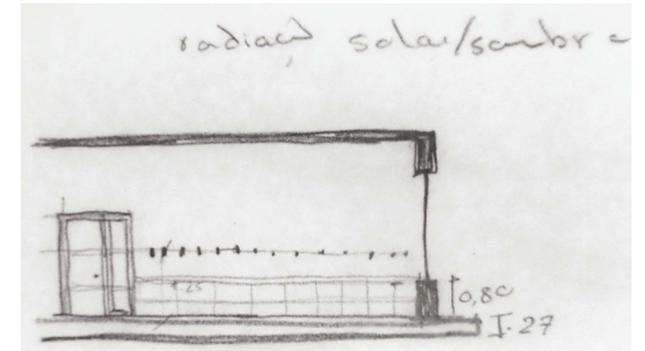
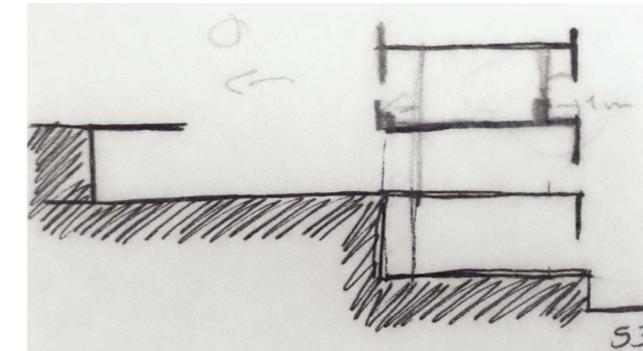
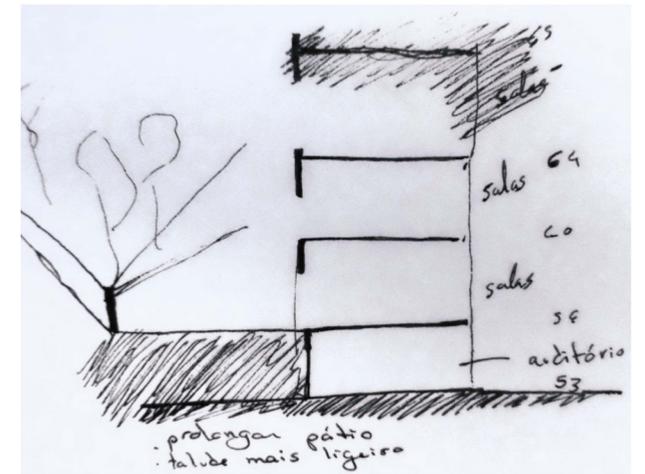
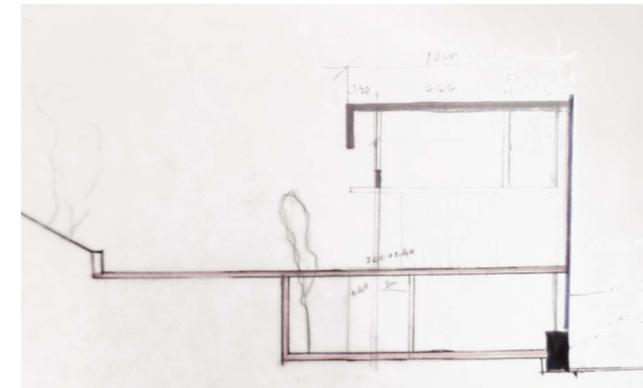


Figura 78 | Esquços salas de aula | relações interior - exterior.



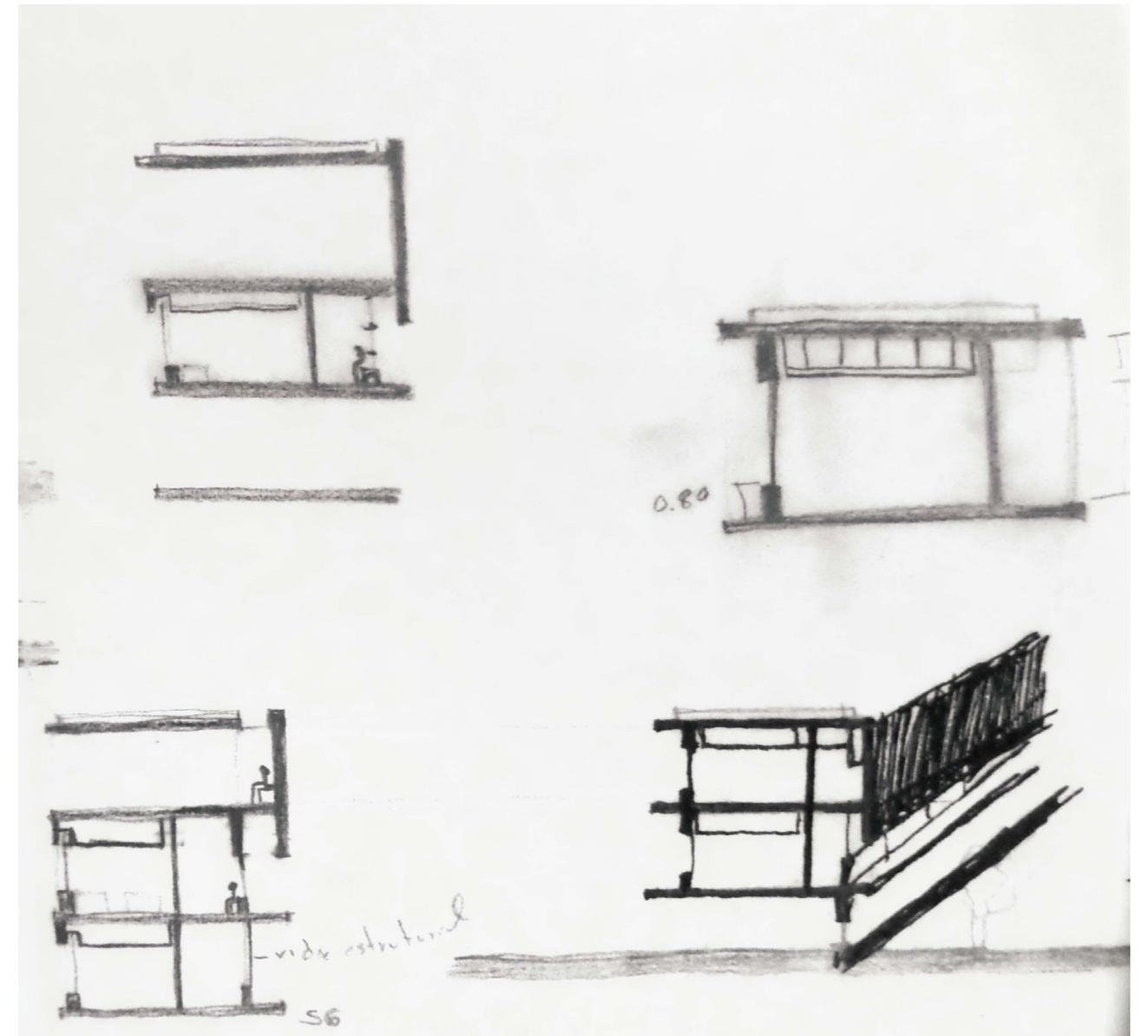
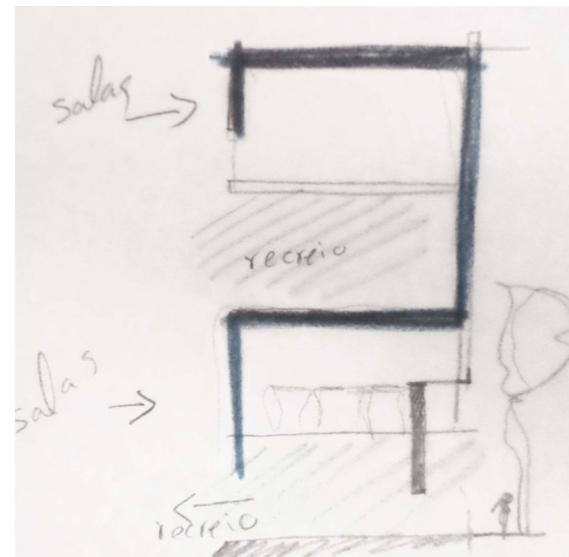


Figura 79 | Esquiços salas de aula | relação interior - exterior | sala de aula - corredor - recreio coberto.

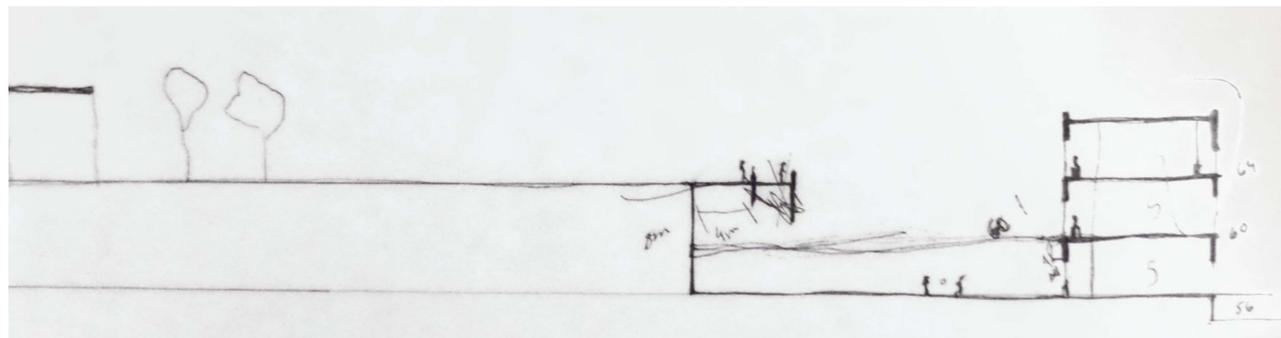
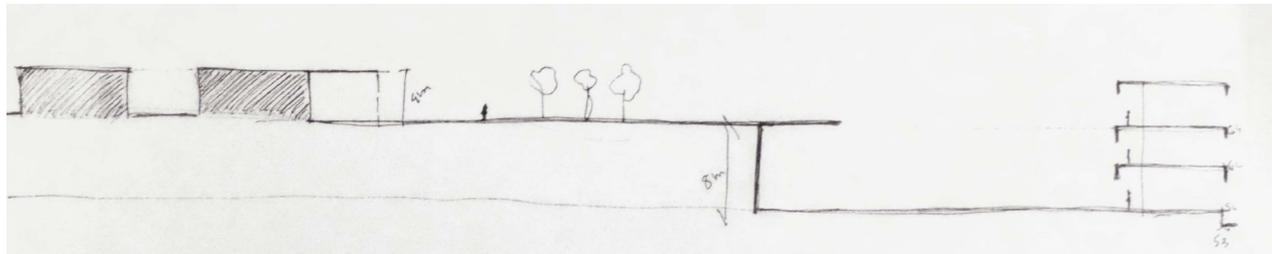


Figura 80 | Esquícios recreio | relação salas com recreio.

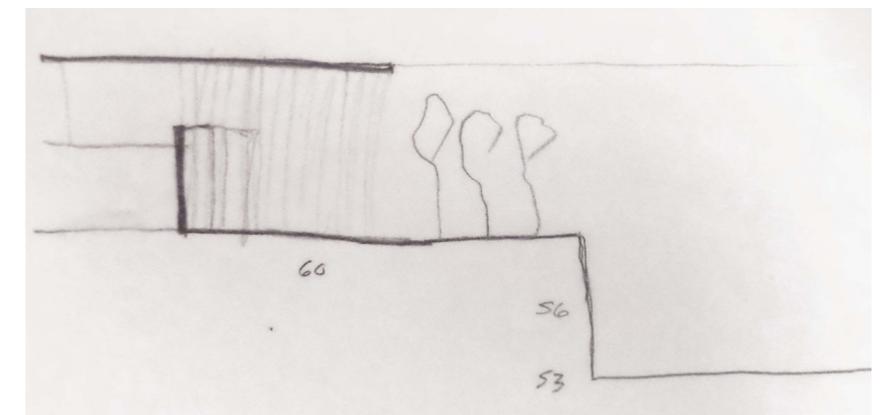
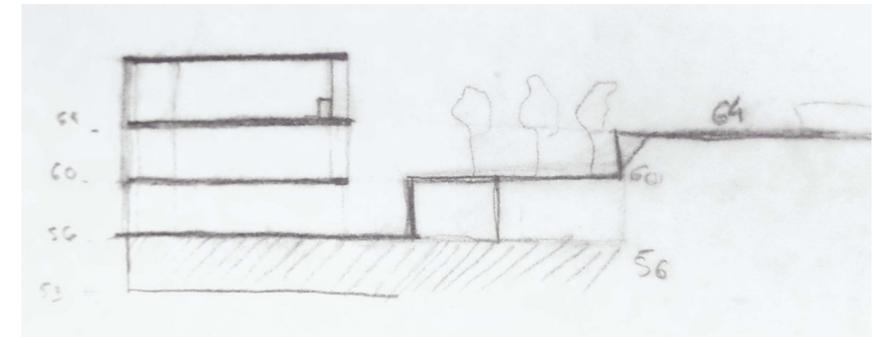




Figura 81 | Corte transversal 1 | 1`.

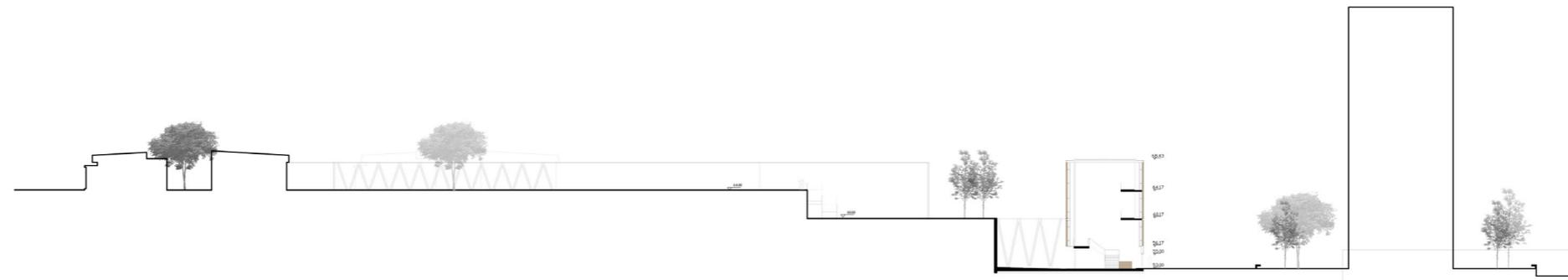


Figura 82 | Corte transversal 4 | 4`.

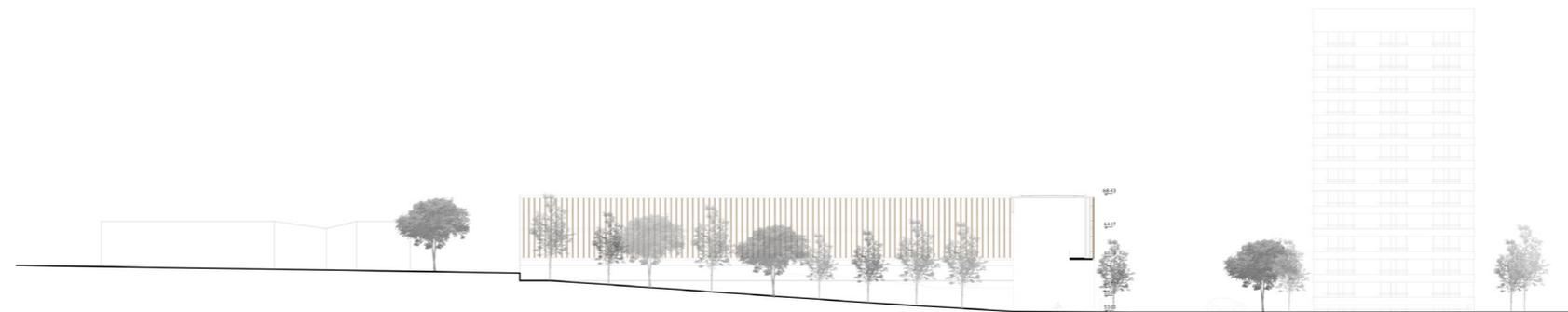


Figura 83 | Corte transversal 5 | 5`.





Figura 84 | Imagem interior sala e ligações entre salas de aula Escola E.B.2,3 ciclos Gaspar Correia.



# **III. DETALHE CONSTRUTIVO**

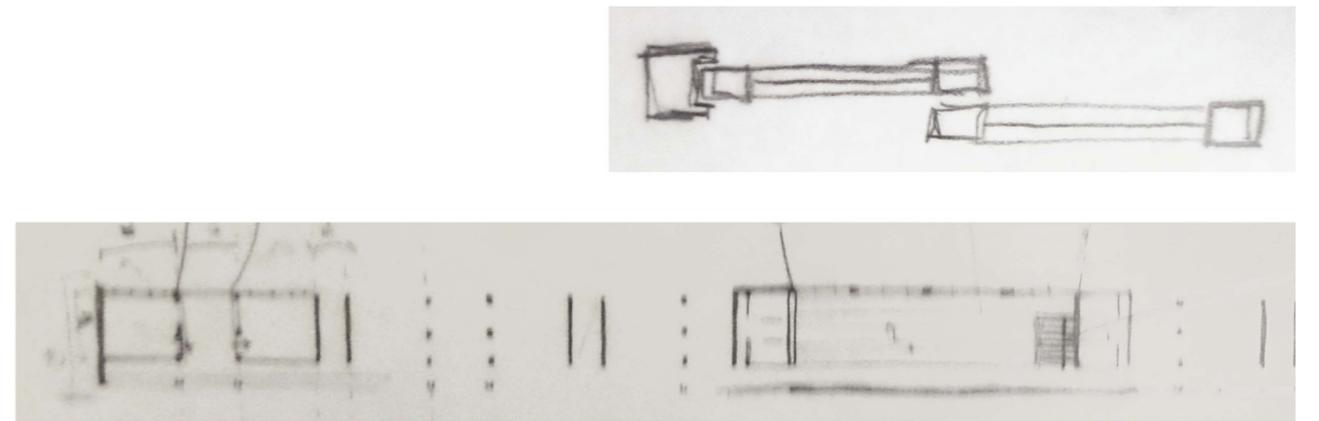
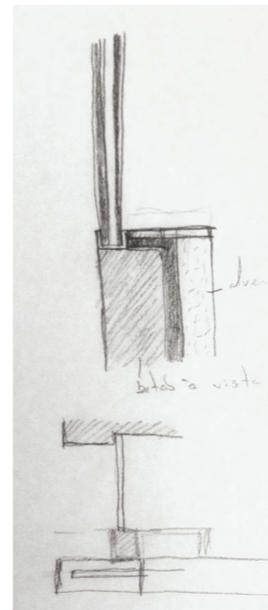
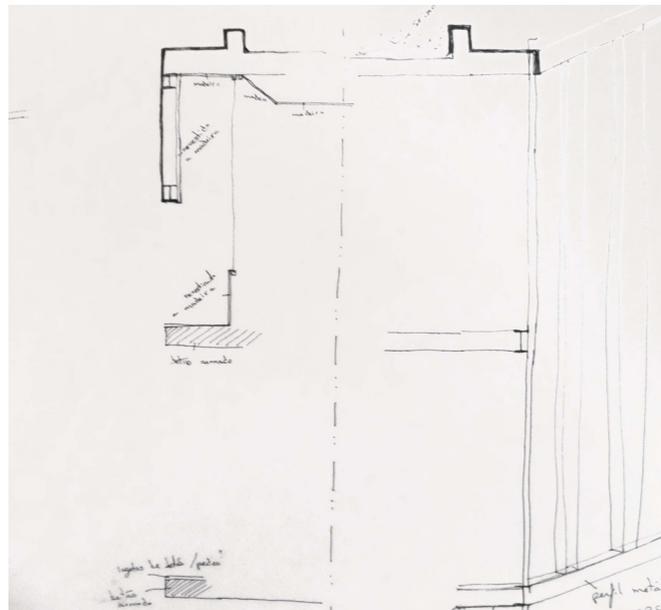


Figura 86 | Esquços pormenores construtivos.



Figura 87 | Promenores construtivos Escola E.B. 2,3 ciclos Gaspar Correia.

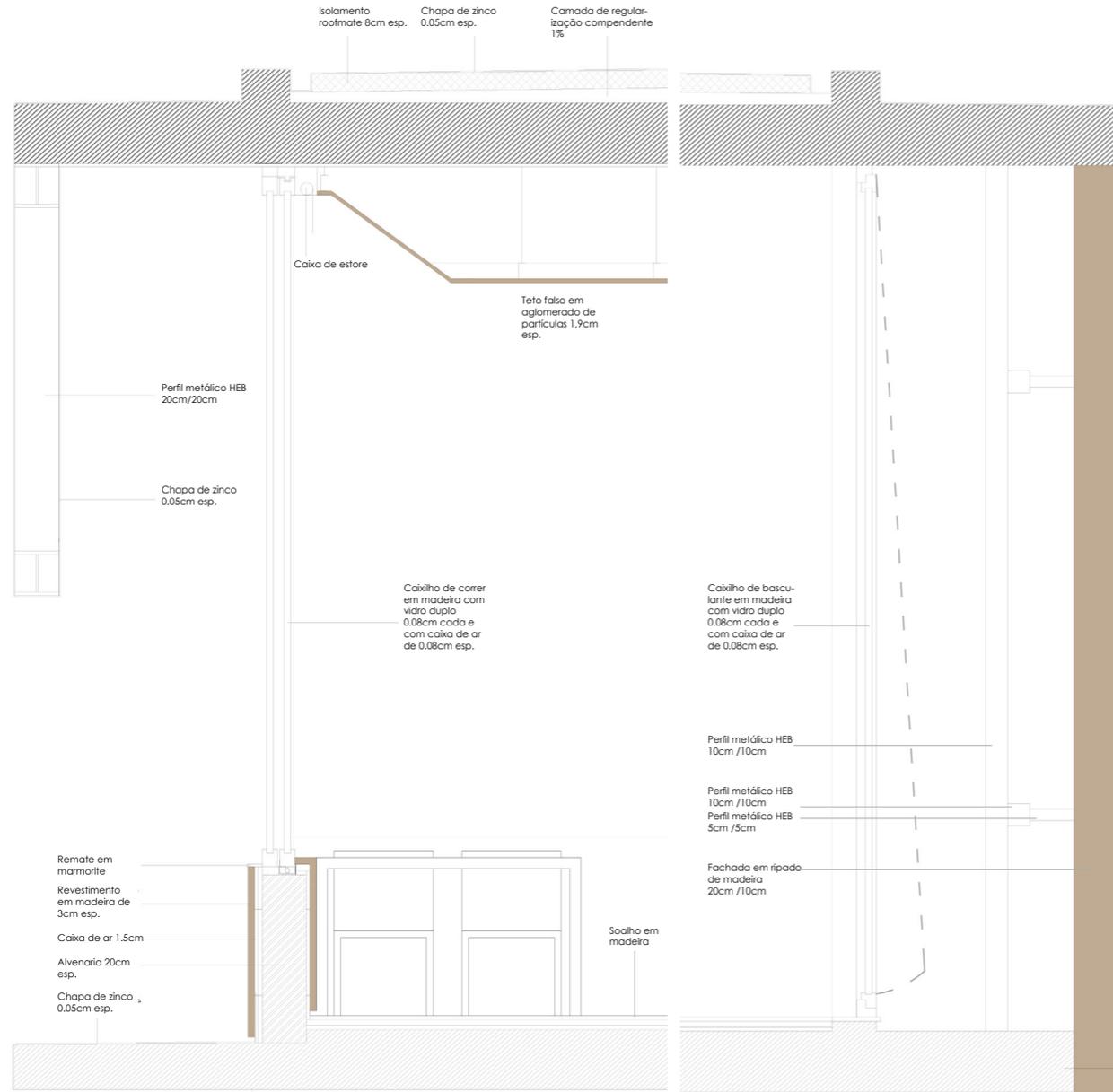


Figura 88 | Corte construtivo | pormenor sala de aula e corredor.

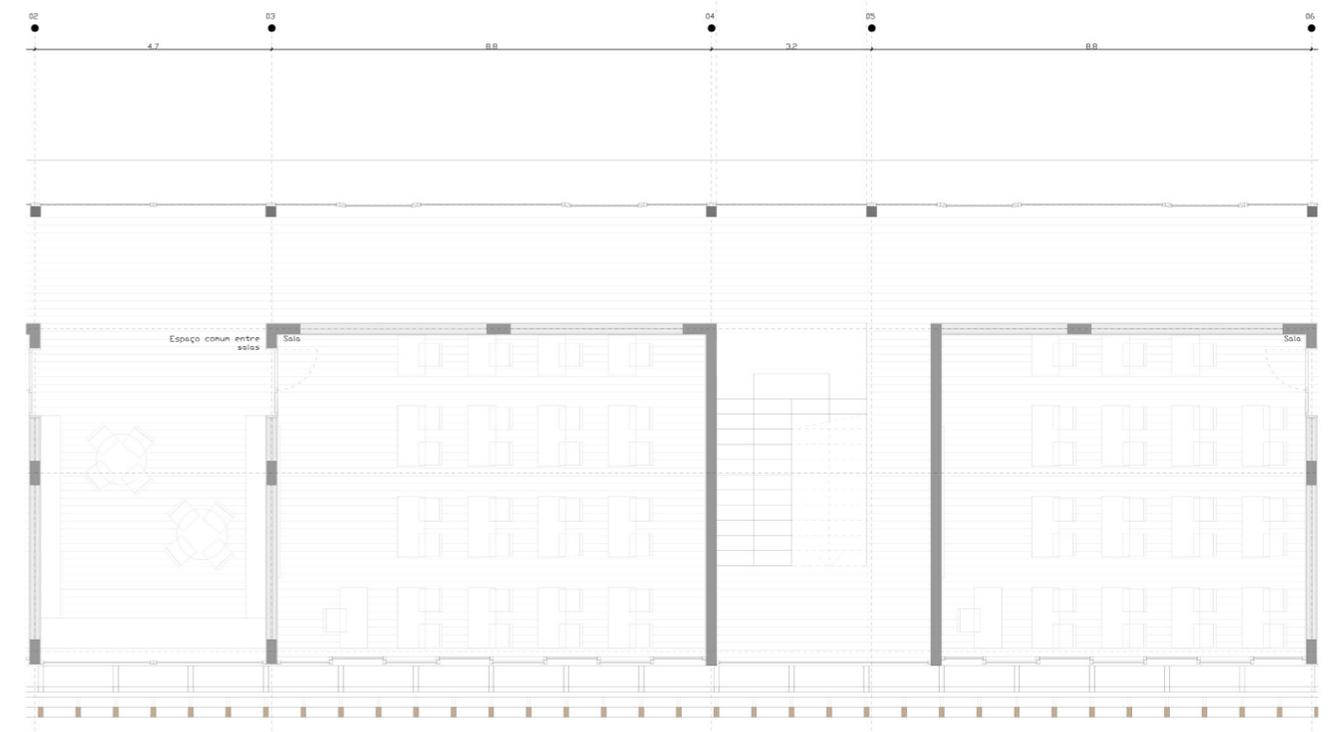
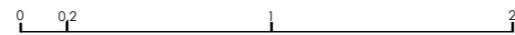


Figura 89 | Pormenor salas de aula | sistema em betão armado.



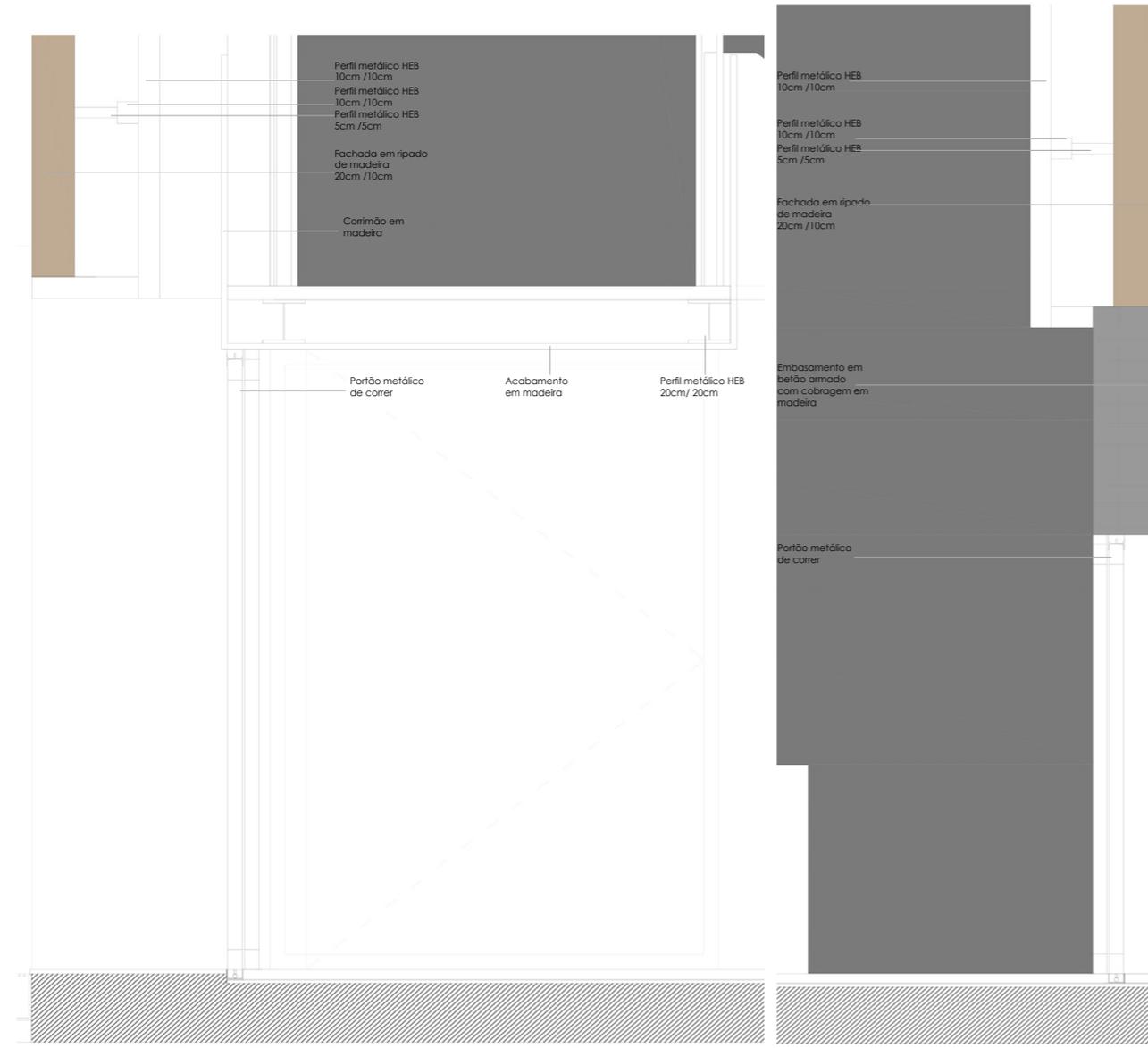


Figura 90 | Pormenor átrio entrada | sistema metálico.

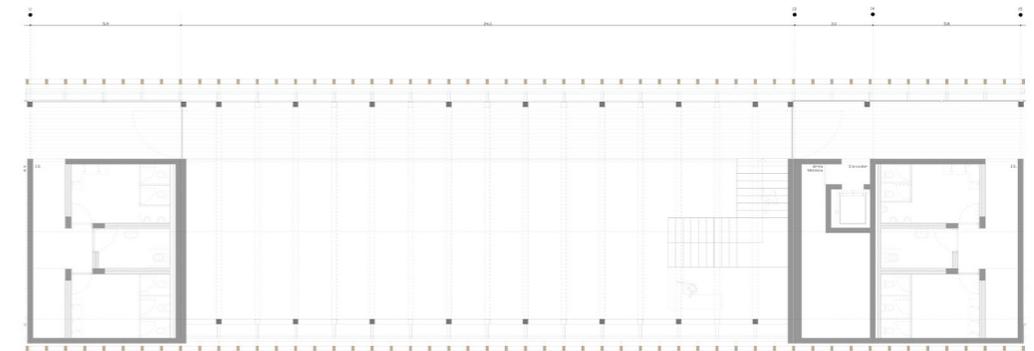
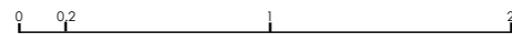


Figura 91 | Pormenor átrio entrada | sistema metálico.



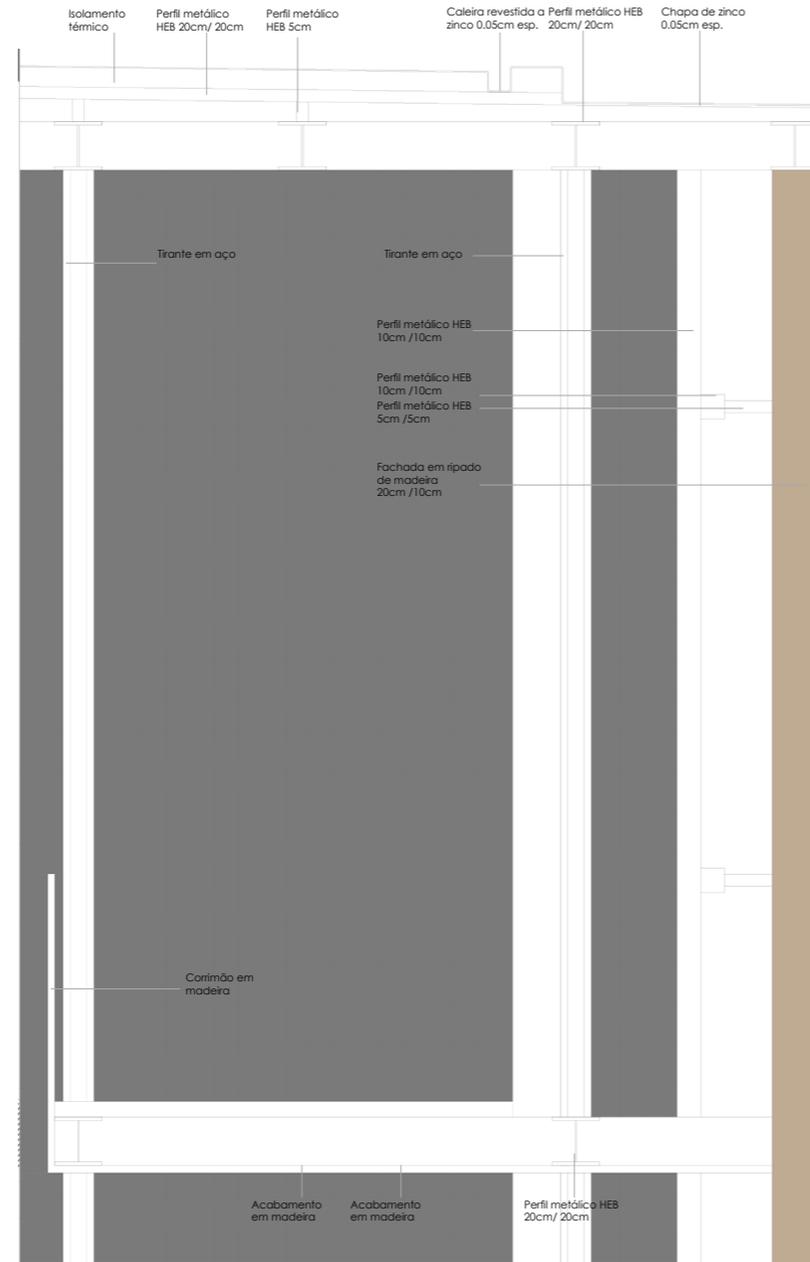


Figura 92 | Corte construtivo | pormenor dos passadiços | sistema metálico 0 0,2 1 2

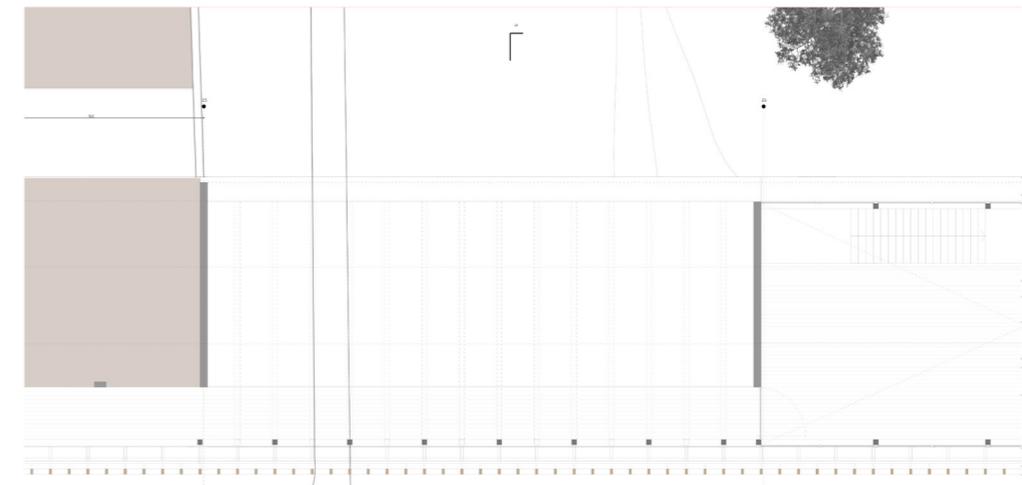


Figura 93 | Passagem entre escola | biblioteca | sistema metálico. 0 2 5 10

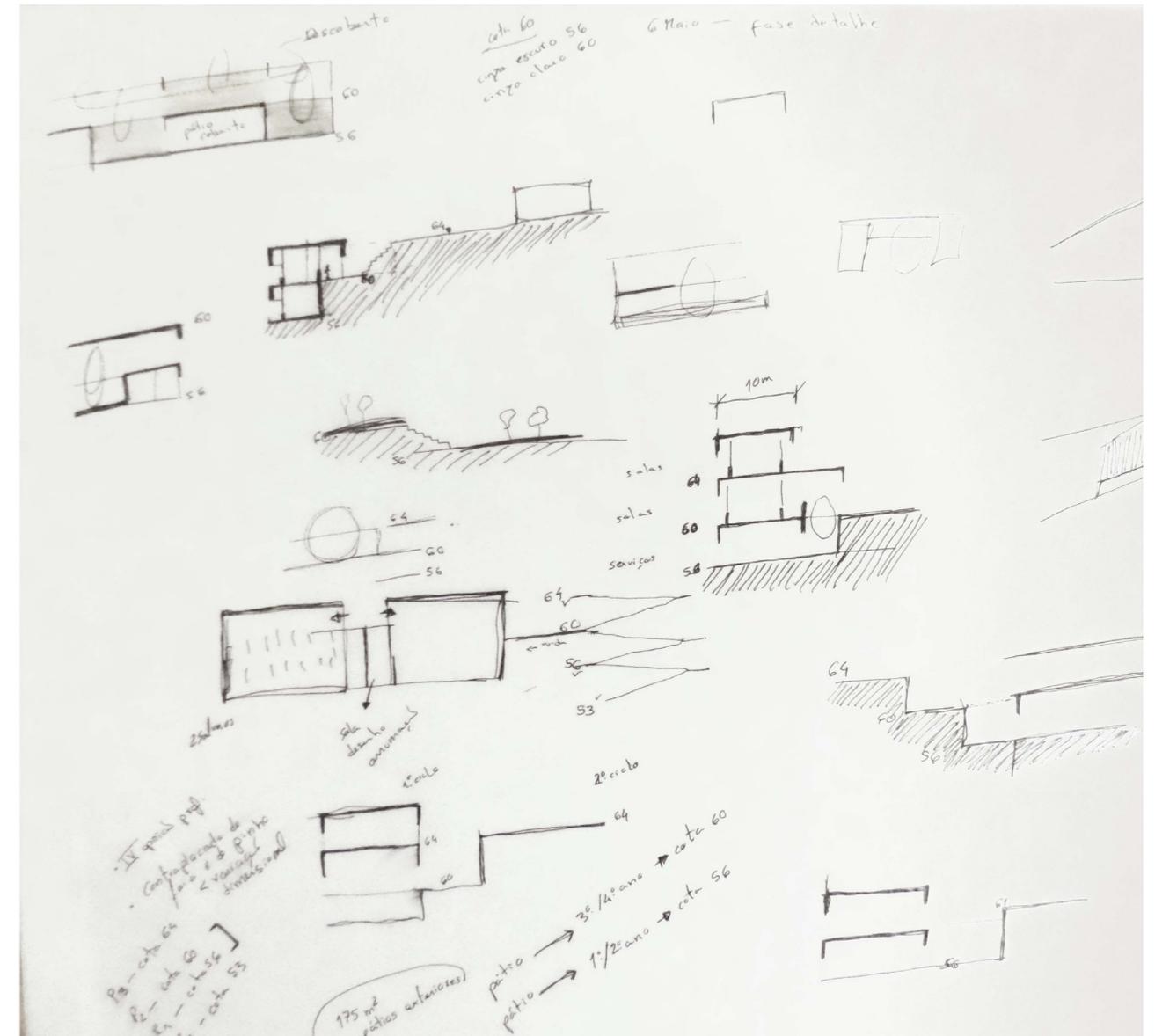


Figura 94 | Esquços da procura de relações.



Figura 95 | Maquetas de processo de trabalho escala 1.500 | 1.200.



## BIBLIOGRAFIA

Bibliografia parte I.a | trabalho de grupo:

ALBERTI, Leon Battista, Re Aedificatoria Cap. IX.

BETTENCOURT, Luísa Catarina Freitas Andrade (2010). A Morfologia Urbana da Cidade do Funchal e os seus espaços públicos estruturantes. Malha Urbana nº10. Capítulo I.- A cidade.

LAMAS, José Manuel Ressano Garcia (1993). Morfologia Urbana e Desenho da Cidade. Fundação Calouste Gulbenkian.

FERREIRA, Bruno. André Macedo. Optimist Suburbia: o início da Metrópole Contemporânea. Leitura crítica sobre a configuração urbano-arquitetónica da periferia norte da cidade de Lisboa. Doutramento em Arquitetura.

GONÇALVES, Rogério. Apontamentos sobre o nosso Transitório (Pós) Moderno, in Jornal Arquitectos, nº 208, Novembro/Dezembro, 2002.

LYNCH, Kevin. A Imagem da Cidade. 2011.

MONTEIRO, Isabel. A Obra do arquitecto Fernando Silva (1914-1983): um arquitecto da "geração esquecida", Dissertação de Mestrado em História da Arte Contemporânea, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, 2007. (policopiado).

PINTO, Paulo Tormenta (cood.) Revista Passagens - Paisagens Distantes - A CRIL uma Avenida Pós-moderna, nº1, Janeiro 2013, Editora Caleidoscópico, Casal de Cambra.

SALGUEIRO, Teresa Barata (1992). A cidade em Portugal. Uma Geografia Urbana, Porto: Edições Afrontamento.

Bibliografia de imagens e mapas:

Arquivo Municipal de Lisboa - arquivo fotográfico de Lisboa.

Arquivo Municipal de Loures.

## Bibliografia

Bibliografia parte I.b | trabalho individual:

BETTENCOURT, Luísa Catarina Freitas Andrade (2010). A Morfologia Urbana da Cidade do Funchal e os seus espaços públicos estruturantes. Malha Urbana nº10. Capítulo I.- A cidade.

LAMAS, José Manuel Ressano Garcia (1993). Morfologia Urbana e Desenho da Cidade. Fundação Calouste Gulbenkian.

FERREIRA, Bruno. André Macedo. Optimist Suburbia: o início da Metrópole Contemporânea. Leitura crítica sobre a configuração urbano-arquitetónica da periferia norte da cidade de Lisboa. Doutramento em Arquitetura.

GONÇALVES, Rogério. Apontamentos sobre o nosso Transitório (Pós) Moderno, in Jornal Arquitectos, nº 208, Novembro/Dezembro, 2002.

LYNCH, Kevin. A Imagem da Cidade. 2011.

MONTEIRO, Isabel. A Obra do arquitecto Fernando Silva (1914-1983): um arquitecto da "geração esquecida", Dissertação de Mestrado em História da Arte Contemporânea, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, 2007. (policopiado).

NEUFERT, Arte de Projetar Arquitetura. Tradução da 21ª Edição Alemã. 1998.

PINTO, Paulo Tormenta (coord.) Revista Passagens - Paisagens Distantes - A CRIL uma Avenida Pós-moderna, nº1, Janeiro 2013, Editora Caleidoscópio, Casal de Cambra.

RODRIGO, Sérgio Fazenda. 2009.

SALGUEIRO, Teresa Barata (1992). A cidade em Portugal. Uma Geografia Urbana, Porto: Edições Afrontamento.

Bibliografia web:

[http://www.skylightestruturas.com.br/perfis\\_heb.asp](http://www.skylightestruturas.com.br/perfis_heb.asp)

<http://orcamentos.eu/project/perfis-metalicos-heb/>

<http://www.joseneves.net/>

<http://aepm.webtuga.org/>

Bibliografia de mapas:

Arquivo Municipal de Loures.

## ANEXOS

Vertente Projetual | I.a | I.b

Referências Projetos

Escola básica marquesa de Aloma | Escola Francisco de Arruda – Arquiteto José

Neves

Escola Secundária Garcia da Orta | Escola Secundária D. Dinis – Arquiteto Back

Gordon

Escola Secundária Alvelar Brotero – Arquiteta Inês Lobo

Escola Secundária – Arquiteto Pedro Costa

Escola Secundária Vergílio Ferreira, Laranjeiras

Escola Secundária de Fonseca Benevides – Arquiteto José Costa e Silva

Escola Leutshenbach - Christian Kerez

Casa em Moledo | Conversão do Mosteiro de Santa Maria do Borno em pousada –

Arquiteto Souto Moura

Mercado de Ponte de Lima - Guedes Cruz

Nova sede edp - Manuel Aires Mateus

Reitoria Universidade Aveiro - Gonçalo Byrne

Renewal and Estension of the German School of Lisbon, Portugal 2010.

## Vertente Projetual | I.b Credências

**ISCTE** Instituto Universitário de Lisboa  
Departamento de Arquitectura e Urbanismo

A  
Escola Básica 2+3 Gaspar Correia

**CRENCIAL**

Informamos que Naiara Rosa, Aluna nº53754, Carolina Medeiros nº53721 que se encontram a frequentar o Mestrado Integrado em Arquitectura deste instituto.

No âmbito da unidade curricular de "Projecto Final de Arquitectura", têm a realizar um trabalho de investigação sob a orientação dos Professores Paulo Tormenta Pinto e José Neves.

Vimos solicitar a vossa melhor colaboração no sentido de lhes ser facultada uma visita à Escola, situada na Portela de Sacavém, em Loures, bem como registos fotográficos e levantamento de algumas medidas, para que possam concluir com sucesso a pesquisa que se encontram a realizar e que está relacionada com a pesquisa a ser efectuada no âmbito do trabalho da unidade curricular.

Com os nossos melhores cumprimentos,



Lisboa, 19 de Fevereiro de 2014

E-mail: [secretariado.dau@iscte.pt](mailto:secretariado.dau@iscte.pt)

ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa  
Avenida das Forças Armadas, Edifício I, Sala 1W8 - 1649-026 LISBOA Portugal  
Tel: +351 210464112/3 - [www.iscte.pt](http://www.iscte.pt)

**ISCTE** Instituto Universitário de Lisboa  
Departamento de Arquitectura e Urbanismo

A  
Escola Secundária da Portela, Escola Básica 2+3 Gaspar Correia  
Escola básica da Portela  
Escola básica de Moscavide  
Escola básica 1/JL de Moscavide  
Jardim de infância de Moscavide

**CRENCIAL**

Informamos que Naiara Rosa, Aluna nº53754, Susana Neves, Aluna nº55431 e Vanessa Branco, Aluna nº39563 que se encontram a frequentar o Mestrado Integrado em Arquitectura deste instituto.

No âmbito da unidade curricular de "Projecto Final de Arquitectura", têm a realizar um trabalho de investigação sob a orientação dos Professores Paulo Tormenta Pinto e José Neves.

Vimos solicitar a vossa melhor colaboração no sentido de lhes ser facultada uma visita às Escolas, situadas na Portela de Sacavém e Moscavide, em Loures, bem como registos fotográficos, para que possam concluir com sucesso a pesquisa que se encontram a realizar e que está relacionada com a pesquisa a ser efectuada no âmbito do trabalho da unidade curricular.

Com os nossos melhores cumprimentos,



*As alunas estão autorizadas a visitar as escolas do agrupamento e a proceder aos registos (fotográficos) dos espaços.*

*Almeida*  
10/01/14

Lisboa, 10 de Janeiro de 2014

E-mail: [secretariado.dau@iscte.pt](mailto:secretariado.dau@iscte.pt)

ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa  
Avenida das Forças Armadas, Edifício I, Sala 1W8 - 1649-026 LISBOA Portugal  
Tel: +351 210464112/3 - [www.iscte.pt](http://www.iscte.pt)



**Enunciados**

Exercício de arranque

Argumento: A Representação do Espaço no Tempo do Space Shuttle Columbia.

A importância dos lugares, e a sua genealogia em muitos casos foi superada pela implementação das novas tipologias urbanas associadas a projectos de edifícios pouco qualificados. É com este argumento que procura estruturar-se o exercício de arranque de PFA 2013-14, enquadrando-o com a temática geral da unidade curricular expressa no texto: Arquitectura ou Revolução – Learning from the satellite. Para além de funcionar como experimentação prévia das temáticas em estudo, este exercício funcionará como revisão sumária da formação adquirida nos 4 anos anteriores.

Metodologia e tarefas a desenvolver:

Os estudantes deverão constituir-se em grupos de 5 elementos, no seio de cada grupo deverá ser seleccionado um edifício de habitação colectiva cujas características apontem para uma obra pouco qualificada do ponto de vista arquitectónico, implantada nas áreas de expansão de Lisboa (no tempo do Space Shuttle Columbia). O edifício seleccionado deverá ser devidamente enquadrado com a envolvente e com a época em que foi construído. O exercício consiste em encontrar uma possibilidade de intervenção desse edifício, tendo por base um orçamento de 10.000,00 €. Durante o processo de projecto cada grupo deverá ser capaz de realizar interpretações e leituras representativas do edifício (por ex. desenhos, fotos, maquetas de estudo), tendo como objectivo descortinar um nexo arquitectónico no edifício escolhido, o qual deve ser associado à intervenção a operar. Como resposta ao exercício deverão ser produzidos 3 tipos de representação do projecto:

1. No contexto do grupo, deverá realizar-se uma apropriação do objecto escolhido e do discurso sobre ele produzido, realizando ligações a imagens (gráficas, literárias, fotográficas, cinematográficas, etc) produzidas por outros autores. Neste contexto o grupo deverá ser capaz de explicar de forma clara as ligações estabelecidas com um universo cultural, que apesar de externo, pressupõe quer sínteses, quer estímulos evocativos das opções arquitectónicas a empreender;

2. Desenhos e/ou fotomontagens manuais em formato A2 capazes de representar as opções de leitura e projecto;

3. Deverá ainda ser realizada uma maquete, cujo volume deverá ser aproximadamente 30 dm<sup>3</sup> (0,30x0,30x0,30 m), realizada com o objectivo de fixar o entendimento discursivo em torno do edifício em estudo e das possibilidades de regeneração previstas – A escala do edifício fica inteiramente ao critério do grupo de trabalho;

**Objectivos**

Ob1. Estimular uma aproximação ao tema geral de PFA 2013-14;

Ob2. Estabelecer um reconhecimento discursivo entre docentes e discentes;

Ob3. Debater processos de intervenção arquitectónica e urbano com base em condicionamentos pré-delineados;

Ob4. Promover relações entre leituras macro e micro do território de intervenção, associando-as a processos de representação do espaço.

Prazos:

Início – dia 17 de Setembro / Entrega e apresentação – aula do dia 3 de Outubro.

### Exercício Tema 1, Anual

“A Arquitectura e a Cidade: E se toda a zona central da Portela de Sacavém fosse destruída por uma catástrofe?”

De modo a sedimentar as experiências realizadas ao longo do curso, o objetivo principal dos trabalhos a desenvolver durante o ano, trata de avaliar criticamente os modelos subjacentes à arquitetura da cidade no final do século XX, pondo em relevo a tomada de uma posição ética no trabalho da arquitetura.

O trabalho que se propõe aos alunos de PFA assenta num cenário que decorre de uma ficção que acelera subitamente um processo, de certo modo, em curso:

E se toda a zona central da Portela de Sacavém fosse destruída por uma catástrofe?

Considerando-se assim a destruição irremediável, através de um grande incêndio e consequente derrocada, de um dos alicerces fundamentais da Urbanização da Portela, apesar de nunca ter sido edificado conforme o projeto original- não só o centro comercial e a torre, mas também as piscinas, as escolas e a igreja, da autoria do arquiteto Luíz Cunha, entretanto construídas - poroem-se o lançamento de um debate no contexto do coletivo da turma e, mais concretamente, dos grupos de trabalho, sobre a arquitetura da cidade, a pretexto do modelo subjacente a esta estrutura urbana.

Em certa medida invocam-se, com as devidas distâncias, pressupostos aproximados ao debate que há 25 anos, em 1988, se puseram com o incêndio do Chiado que atingiu uma das áreas chave e de maior concentração comercial da Baixa Pombalina.

Os estudantes deverão manter os grupos de 5 elementos, que começarão por desenvolver uma proposta coletiva para o projeto do novo centro cívico da Portela, do qual um conjunto de edifícios será desenvolvido individualmente por cada um dos elementos.

Deste modo o trabalho de grupo deverá ser realizado com base em 3 fases desenvolvidas, ora em grupo, ora individualmente:

1ª Fase (em grupo): Território - caracterização biofísica, caracterização da mobilidade, caracterização da estrutura edificada, da distribuição dos espaços públicos, evolução e enquadramento histórico e planos urbanísticos.

Em paralelo com este trabalho de análise, os grupos deverão desenvolver uma proposta de intervenção com ase nas áreas brutas edificadas correspondentes ao programa cujo suporte edificado existente foi destruído, respetivamente:

- . Comércio: 7.638 m<sup>2</sup>;
- . Escritórios: 7.050 m<sup>2</sup>;
- . Habitação: 7.050 m<sup>2</sup>;
- . Escola Básica: 3.263 m<sup>2</sup>;
- . Estacionamento coberto: 2.800 m<sup>2</sup>;
- . Piscina: 2.195 m<sup>2</sup>;
- . Igreja: 2.100 m<sup>2</sup>.

2ª Fase (individual): O edificado - Cada elemento do grupo deverá desenvolver, individualmente, o projeto para o conjunto edificado determinado entre a proposta global. Ao longo do desenvolvimento individual dos diferentes conjuntos, o debate no contexto do grupo de trabalho proseguirá, tendo em vista uma articulação constante entre as várias partes do todo e a consolidação do modelo urbano proposto inicialmente pelo grupo de trabalho.

Os enunciados respetivos serão distribuídos oportunamente no início de cada uma das fases.

#### Prazos:

1ª Fase: 10 | 10 | 13 - 19 | 11 | 13

2ª Fase: 05 | 12 | 13 - 18 | 03 | 14

3ª Fase: 25 | 03 | 14 - 15 | 05 | 17

### **Exercício Tema 1, Anual - parte individual**

Determinados os conjuntos edificados a projetar individualmente e definidos os programas respectivos, cada aluno deverá prosseguir o trabalho de acordo com as fases descritas a seguir. Após a conclusão destas fases individuais, deverá realizar-se a revisão final dos trabalhos de grupo.

#### **Objetivos**

Continuando a tomar como objetivo principal a avaliação dos modelos subjacentes à arquitetura da cidade no final do século XX, pondo em relevo a tomada de uma posição ética no trabalho da arquitetura, e de modo a sedimentar as experiências realizadas ao longo do curso, tal como definido no princípio do ano, o objetivo central dos trabalhos a desenvolver ao longo das fases seguintes. tratará de reforçar e aprofundar a importância dos processos de projeto inerentes à prática e ao pensamento da arquitetura.

#### **Programa e método**

Adoptando em todos os momentos, os processos de tentativa e erro baseados nos modos e nos códigos do desenho arquitectónico, enquanto método de desenvolvimento do projeto, as aulas decorrerão com a apresentação sistemática dos trabalhos de curso, perante o coletivo da turma, permitindo a sua discussão e avaliação contínua.

O estado dos trabalhos a apresentar regularmente por cada aluno, deverá corresponder a um ponto de situação, incluindo, tanto quanto possível, os elementos em desenvolvimento que constituirão a apresentação final de cada fase. Respetivamente:

2ª Fase (estudo prévio), a entregar no dia 25 de Fevereiro

3ª Fase (projeto base), a entregar no dia 1 de Abril

4ª Fase (projeto detalhado), a entregar no dia 6 de Maio



## RESUMO

Palavras-Chave: Higroscopicidade, Sistema Passivo, Madeira, Sustentabilidade.

O excesso de humidade em ambientes interiores é a causa para a falta de conforto higrotérmico, para problemas relacionados com a durabilidade nos materiais de construção, bem como para problemas de saúde dos ocupantes. O controlo da humidade relativa interior está bem estabelecido, com a utilização dos sistemas mecânicos de condicionamento e renovações do ar. Nos edifícios residenciais, no entanto, o uso de sistemas passivos para o controle das condições interiores tem a vantagem de reduzir o consumo de energia e de recursos, mantendo níveis adequados de conforto adaptativo.

A compreensão do desempenho higroscópico dos ambientes interiores tem vindo a evoluir para a consideração da contribuição de materiais de construção. Tem sido demonstrado que as propriedades dos materiais em contacto direto com o volume de ar interior (como revestimentos, mobiliário, etc.) podem ter uma influência importante na taxa de variação da humidade relativa.

Esta pesquisa analisou um produto à base de madeira (painéis de partículas) na humidade relativa do ar de um ambiente fechado através da adsorção da humidade. A adsorção da humidade é geralmente apontada como uma fraqueza nos produtos de madeira. Neste caso, a capacidade de adsorver e de reter a humidade foi utilizado para identificar o potencial para a criação de um sistema passivo de equilíbrio de humidade. O objetivo principal é avaliar o efeito da humidade no sistema higroscópico e a possível contribuição do sistema na inércia higroscópica de um espaço.

Os provetes de painéis de partículas foram preparados para se adaptarem suspensas em células de ensaio. A fim de avaliar as características do projeto de otimização do sistema, a relação das amostras de superfície - volume de cada provete foi modificada pelo corte digital de aberturas circulares e quadrangulares.

O sistema de teste foi monitorizado através da medição da temperatura e da humidade relativa no interior das quatro células e na sala onde foram realizados os ensaios.

## **ABSTRACT**

Keywords: hygroscopicity, passive system, wood-based product, sustainability.

Excess moisture in internal environments is the cause for the lack of hygrothermal comfort, durability-related problems in building materials as well as occupant's health issues. The control of the internal relative humidity is well established with the use of mechanical HVAC systems. In residential buildings however, the usage of passive systems for controlling internal conditions has the advantage of lowering energy and resource consumption maintaining adequate levels of adaptive comfort.

The understanding of the hygroscopic performance of internal environments has been evolving to the consideration of the contribution of building materials. It has been shown that the properties of the materials in direct contact with the internal air volume (like finishes, furniture, etc.) may have an important influence in the variation rate of the relative humidity.

This research analysed the effect of a wood-based product (particle board) in the relative humidity of a closed environment through hygroscopic moisture adsorption. Moisture adsorption is usually pointed out as a weakness in wooden products. In this case, the ability to adsorb and retain moisture was used to identify the potential for the design of a humidity balance passive system. The main objective is to evaluate the hygroscopic moisture buffering effect and the possible contribution of the system to a room's hygroscopic inertia.

Particle board samples were prepared to fit suspended into plastic sealed cases. In order to evaluate optimization design features of the system, the samples surface-to-volume ratio was modified by digital milling of circular and quadrangular openings.

The adsorption case had a water layer on the base, while desorption was carried out in a case just containing the suspended sample. For comparison, two reference cases were used (one with water on the base) with no samples. The test system was monitored by the measurement of temperature and relative humidity inside the four cases and in the room where the tests were performed.

## ÍNDICE

### INTRODUÇÃO

Índice de figuras	14   18
Índice de tabelas	19   21
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	22   24

Motivação e enquadramento do tema 28

Objetivos 29

Organização e estruturação do texto 30

### CAPÍTULO I

ESTADO DA ARTE: A HUMIDADE NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

I.1. Relação entre o Conforto e a Humidade 34 | 41

I.2. Conceitos Gerais de Humidade no Interior dos Edifícios 41 | 45

I.3. Higrometria em Espaços Interiores 45 | 47

### CAPÍTULO II

ESTADO DA ARTE: HIGROSCOPICIDADE

II.1. Higroscopicidade dos Materiais 50 | 54

II.2. Inércia Higroscópica 54 | 58

II.3. Estratégias de Controle Higroscópico no Interior dos Edifícios 59 | 60

### CAPÍTULO III

ESTADO DA ARTE: CONHECIMENTO DO MATERIAL

III.1. Madeira 64 | 67

III.2. Tipos de Madeira 68 | 70

III.3. Propriedades da Madeira 70 | 73

III.4. Água na madeira e Higroscopicidade da Madeira Maciça e Derivados 74 | 86

## CAPÍTULO IV

### SISTEMA HIGROSCÓPICO

IV.1. Projeto 90 | 93

IV.2. Fabricação 94 | 96

IV.3. Avaliação Experimental 97

IV.3. 1. Introdução ao sistema de ensaio 97

IV.3. 2. Descrição do sistema de ensaio – conceito do sistema 98 | 100

IV.3. 3. Descrição geral do ensaio 101 | 107

IV.4. Análise de Resultados 109

IV.4.1. Processo de correcção de dados 109 | 110

IV.4.2. Análise do provete C01 111 | 115

IV.4.3. Análise do provete C14 116 | 119

IV.4.4. Análise do provete Q01 120 | 123

IV.4.5. Análise do provete Q02 124 | 127

IV.4.6. Análise do provete C12 128 | 131

IV.4.7. Análise do provete C02 132 | 135

IV.5. Análise conjunta integrada 136 | 135

## CAPÍTULO V

V. 1. Considerações finais 148 | 149

V.2. Desenvolvimentos futuros 150

BIBLIOGRAFIA 153

## CAPÍTULO I

Figura 1.1 - Percentagem de insatisfeitos com o conforto respiratório, em função da temperatura e da humidade relativa (Ramos, 2007, p. 52) 36

Figura 1.2 - O efeito da humidade em vários parâmetros relacionados com saúde e qualidade do ar interior, indicando que a humidade relativa ideal deveria situar-se entre 30% e 55% (Simonson, et al., 2001) 37

Figura 1.3 - Relação entre a diferença de pressão interior e exterior e o número de renovações horárias para um exemplo  $V=30$  e toma os valores 75, 150 e 225g/h (Ramos, 2007, p. 67) 41

Figura 1.4 - Diagrama psicométrico simplificado 45

## CAPÍTULO II

Figura 2.1 - Percurso típico de uma curva higroscópica (Ramos, 2007, p. 43) 51

Figura 2.2 - Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro (Ramos, 2007, p. 42) 52

Figura 2.3 - Gráfico da relação ( $\rho$ , AMDR) com delimitação das classes de inércia higroscópica diária propostas (Ramos, 2007, p. 263) 57

## CAPÍTULO III

Figura 3.1 - Estrutura mais simples de cobertura: dois prumos redondos cravados no solo e ligados no vértice 66

Figura 3.2 - Corte transversal do caule de uma árvore vértice 66

Figura 3.3 - Construída em 1930, a réplica do Fonte Nashborough, em Nashville, Tennessee, destaca as técnicas estruturais utilizadas pelos pioneiros 67

Figura 3.4 - Estrutura do lenho de uma resinosa 69

Figura 3.5 - Estrutura do lenho de uma folhosa 69

Figura 3.6 - Relação da resistência mecânica com a densidade: 1 – flexão estática; 2 – compressão axial; 3 – dureza 71

Figura 3.7 - Relação entre o teor em água e a resistência 71

Figura 3.8 - Relação entre o tempo de atuação das cargas e a resistência 71

Figura 3.9 - Direções tangencial, radial e longitudinal e respetivos coeficientes de retração em termos relativos (valores médios para o pinho bravo) Relação da resistência mecânica com a densidade: 1 – flexão estática; 2 – compressão axial; 3 – dureza 72

Figura 3.10 - Planos da madeira 73

Figura 3.11 - As três direções segundo as quais a madeira exhibe diferentes propriedades: Radial, Longitudinal e Tangencial 73

Figura 3.12 - Fases de secagem da madeira 74

Figura 3.13 - Gama de variação esperada para o teor de água de equilíbrio da madeira 76

Figura 3.14 - Teor de água na madeira 77

Figura 3.15 - Curvas higroscópicas da madeira a diferentes temperaturas (Machado, 2006, p. 32) 79

Figura 3.16 - Placa de madeira maciça unicamada e placa de madeira maciça multicamada 81

Figura 3.17 - Placas de Contraplacado 81

Figura 3.18 - Placas OSB 81

Figura 3.19 - Placa micro lamelada colada 82

Figura 3.20 - Aglomerados de partículas de madeira 82

Figura 3.21 - Placas de madeira-cimento (viroc) 82

Figura 3.22 - Aglomerado de fibras (MDF) 82

## CAPÍTULO IV

Figura 4.1 - Provetes ensaiados 96

Figura 4.2 - Esquema simplificado do sistema de ensaio, em que P1, P2, P3 e P4 correspondem às placas de aquisição de dados onde estão ligados os sensores de temperatura e de humidade das diferentes caixas, PG é a placa multifunções USB 6008 para aquisição de dados, PS é a placa da sala e PG.s é a placa geral da sala 98

Figura 4.3 - Sistema de ensaio 100

Figura 4.4 - Esquema do sistema de ensaio e ligações entre sensores e caixas em que: vermelho é o sensor de temperatura, o azul é o sensor de humidade, preto é a ligação dos sensores das caixas com o sensor geral e o roxo corresponde a transferência de dados do sensor geral para o computador 101

Figura 4.5 - Imagem da placa colocada em cada caixa onde se encontram ligados os sensores de medição da humidade (esquerda) e temperatura e suas saídas de dados para a placa geral (direita) 102

Figura 4.6 - Ligações entre as 4 caixas. Placas dos sensores fixados nas laterais das caixas de forma mais ou menos equidistante 105

Figura 4.7 - Proвете em ensaio na caixa 4. Suspensão do provete e sensores no interior da caixa a atravessar os orifícios do provete 106

Figura 4.8 - Proвете em ensaio na caixa 4. Trave em madeira para suspensão do provete e abertura na tampa da caixa para entrada dos sensores 106

Figura 4.9 - Proвете C0100 111

Figura 4.10 - Gráfico humidade absoluta 112

Figura 4.11 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco C01 115

Figura 4.12 - Proвете C14 116

Figura 4.13 - Gráfico humidade absoluta 117

Figura 4.14 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco C14 119

Figura 4.15 - Proвете Q01 120

Figura 4.16 - Gráfico humidade absoluta 121

Figura 4.17 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco Q01 123

Figura 4.18 - Proвете Q02 124

Figura 4.19 - Gráfico humidade absoluta 125

Figura 4.20 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco Q02 127

Figura 4.21 - Proвете C12 128

Figura 4.22 - Gráfico humidade absoluta 129

Figura 4.23 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco C12 131

Figura 4.24 - Proвете C02	132
Figura 4.25 - Gráfico humidade absoluta	133
Figura 4.26 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco C02	135
Figura 4.27 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes até às 42 horas ordenadas de acordo com a humidade absoluta	137
Figura 4.28 - Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço seco de todos os provetes no 1º período ordenado de acordo com o período de tempo entre as 0-6h	138
Figura 4.29- Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes no 2º período ordenado de acordo com o período de tempo entre as 18-24h	141
Figura 4.30- Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes no 2º período ordenado de acordo com o período de tempo entre as 36-42h	142
Figura 4.31- Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes no 3º período ordenado de acordo com o período de tempo entre as 0-42h	143

**CAPÍTULO I**

Tabela 1.1 - Alguns valores da produção de vapor em edifícios (Ramos, 2007, p. 59)	39
Tabela 1.2 - Estimativa da produção de vapor em atividades domésticas (Ramos, 2007, p. 59)	39
Tabela 1.3 - Classificação dos locais em função da higrometria (Ramos, 2007, p. 68)	47

**CAPÍTULO II**

Tabela 2.1 - Classes de inércia higroscópica diária (Ramos, 2007)	57
---	----

**CAPÍTULO III**

Tabela 3.1 - Teores em água de equilíbrio aproximados para os diferentes tipos de placas, para três ambientes a 20°C de temperatura do ar (Rato, Maio 2008)	84
Tabela 3.2 - Utilização mais frequente (Rato, Maio 2008)	85
Tabela 3.3 - Variações dimensionais estimadas para diversos tipos de placas de derivados de madeira face à variação de 1% do seu teor de água	86

## CAPÍTULO IV

Tabela 4.1 - Dados principais da peça maciça de aglomerado de partículas de madeira	91
Tabela 4.2 - Testes feitos com diferentes números de orifícios circulares	91
Tabela 4.3 - Parâmetros de cálculo do número de círculos dispostos na peça de madeira	92
Tabela 4.4 - Comparação de valores obtidos com orifícios circulares e quadrados, com critério de maquinação de 1cm	93
Tabela 4.5 - Comparação de valores obtidos com orifícios circulares e quadrados, com critério de maquinação de 0,5cm	93
Tabela 4.6 - Designação dos provetes de acordo com forma do orifício, o seu critério de maquinação e o diâmetro do orifício	94
Tabela 4.7 - Ordenação dos provetes de acordo com as suas relações de área/volume	95
Tabela 4.8 - Descrição dos ambientes e sensores de cada caixa	103
Tabela 4.9 - Períodos de ensaio	107
Tabela 4.10 - Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas C01	115
Tabela 4.11 - Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas C14	119
Tabela 4.12 - Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas Q01	123
Tabela 4.13 - Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas Q02	127
Tabela 4.14 - Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas C12	131

Sistema Higroscópico em Madeira para Equilíbrio da Humidade em Espaços Interiores	
Tabela 4.15 - Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas C02	135
Tabela 4.17 - Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no 1º período de ensaio (0-6h)	138
Tabela 4.18 - Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no 2º período de ensaio (18-24h)	141
Tabela 4.19 - Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no 3º período de ensaio (36-42h)	142
Tabela 4.20 - Hierarquia dos provetes com maior capacidade de libertação da humidade adquirida nas caixas húmidas (0-42h)	143

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Designação</b>
i.e.	-	Regime permanente
N.V.	-	Caudal de ventilação
<b>W</b>	kg/s	Produção de vapor
<b>P<sub>v,e</sub></b>	Pa	Pressão de vapor exterior
<b>T<sub>i</sub></b>	°C	Temperatura interior
<b>P<sub>v,i</sub></b>	Pa	Pressão de vapor interior
pV	Pa	Pressão parcial de vapor
m	kg	Massa
R	287,055 J/kg.k	Constante dos gases para ar seco
T	K	Temperatura absoluta
ρ	Pa	Pressão parcial
<b>H<sub>a</sub></b>	%	Humidade absoluta
<b>P<sub>w</sub></b>	kg	Pressão parcial de vapor de água contida no ar
<b>ρ<sub>w</sub></b>	Pa	Pressão de saturação
<b>I<sub>s</sub></b>	-	Limite de saturação
HR	%	Humidade relativa
<b>P<sub>s</sub></b>	<b>g/m<sup>3</sup></b>	Pressão de saturação de vapor de água
<b>W<sub>i</sub></b>	g/kg	Humidade absoluta do ar interior
<b>W<sub>e</sub></b>	g/kg	Humidade absoluta do ar exterior

W	g/kg	Produção de vapor no interior
n	<b>h<sup>-1</sup></b>	Taxa de renovação de ar
MBV ideal	-	Moisture Buffer Value
<b>A<sub>1</sub></b>	-	Fração do período diário
<b>p<sub>sat</sub></b>	Pa	Pressão de saturação
<b>b<sub>m</sub></b>	kg/m <sup>2</sup> .pa. <b>m<sup>1/2</sup></b>	Efusividade hígrica
<b>t<sub>p</sub></b>	s	Intervalo de tempo
<b>δ<sub>p</sub></b>	kg/(m.s.Pa)	Permeabilidade ao vapor
<b>δ<sub>s</sub></b>	kg/m <sup>3</sup>	Massa volúmica
<b>ξ<sub>u</sub></b>	kg/kg	Capacidade específica
<b>I<sub>n,d</sub></b>	<b>g/m<sup>3</sup>.%HR</b>	Índice de inércia higroscópica diária
<b>H<sub>equi</sub></b>	-	Teor de humidade de equilíbrio
<b>M<sub>c</sub></b>	-	Teor de humidade
<b>m<sub>água</sub></b>	kg	Massa de água na madeira
<b>m<sub>madeira</sub></b>	kg	Massa da madeira seca
<b>m<sub>molhada</sub></b>	kg	Massa molhada da madeira a um dado teor de humidade
<b>m<sub>seca</sub></b>	kg	Massa seca da amostra seca
<b>M<sub>p</sub>, K, K<sub>1</sub> e K<sub>2</sub></b>	-	Constantes
A	<b>m<sup>2</sup></b>	Área
V	<b>m<sup>3</sup></b>	Volume
A/V	-	Relação área/volume

---

AMDR	-	Amplitude média diária relativa
N	$h^{-1}$	Número de renovações horárias
TG	s	Período de ciclo diário
PSF	%	Ponto de saturação de fibras
PD	%	Percentagem de insatisfação
H	%	Humidade

---

# INTRODUÇÃO

### **Motivação e enquadramento do tema**

A humidade no interior dos edifícios é um aspeto que influencia diretamente no seu bom desempenho bem como contribui para o conforto higrotérmico, porém quando essa humidade no interior dos edifícios é em excesso, leva a uma série de problemas que condiciona a durabilidade dos próprios materiais, bem como a própria saúde dos ocupantes.

A variação da humidade no interior dos edifícios deve-se a uma série de fatores, que por sua vez condicionam a qualidade do ar, sendo esses a pressão de vapor exterior, a temperatura interior, a ventilação e produção de vapor de água. A existência de materiais higroscópicos é outro fator que em contato com o ar interior contribui para a variação da humidade do ar.

Cada vez mais aparecem edifícios com permatura e/ ou acentuada degradação, resultando em muitos casos da falta do controle da humidade nos espaços.

Para um melhor controle do conforto higrotérmico houve uma grande evolução e criação dos sistemas de condicionamento e renovação do ar, que possibilitam o controle e equilíbrio do ar no interior dos edifícios. Porém, esses sistemas agravam o consumo de energia, levando à hipótese da criação de um sistema passivo que possibilite o equilíbrio do ar.

Com base nesse fator, existe uma grande necessidade da criação de um sistema passivo sem qualquer recurso a meios mecânicos para a diminuição dos consumos energéticos. Para tal, a escolha do próprio material é fundamental, devendo procurar-se uma utilização o mais natural e reciclável possível.

### **Objetivos**

O objetivo desta dissertação partindo dos problemas já identificados, provocados pelo excesso de humidade no interior dos edifícios é o de encontrar uma forma de controle dessa humidade através de um meio passivo.

Esse sistema será desenvolvido com um material natural higroscópico, que resulta da integração da forma, estrutura e desempenho do próprio material, dando respostas às influências ambientais, sem recurso a um controle mecânico adicional.

Desta forma o material escolhido é a madeira, por ser um material natural, renovável, higroscópico, fundamental para este sistema, permitindo a absorção de humidade e o seu equilíbrio no espaço interior.

Numa primeira fase serão desenvolvidos e fabricados protótipos de partículas de madeira, afastados entre si segundo dois intervalos distintos, com dois fatores de variação, com orifícios com formas geométricas simples (quadrangulares e circulares), para serem sujeitos a um primeiro ensaio.

Nuno Ramos desenvolveu um trabalho que teve como objetivo a avaliação higroscópica de materiais. Porém os seus ensaios passam pela análise de três revestimentos à base de gesso através de ensaios numa câmara de fluxo permitindo medir, experimentalmente o amortecimento das variações de humidade no interior de um compartimento.

Com base nas propriedades da madeira o objetivo de trabalho que agora se apresenta é aproveitar a sua capacidade de armazenamento de humidade para amortecimento das variações de humidade relativa no interior dos compartimentos, analisando qual dos provetes seria o mais adequado para tal finalidade.

Deste modo, numa segunda fase será necessário um conhecimento do comportamento dos provetes de madeira em ambientes húmidos. Para tal será feito todo um sistema de ensaio que, por sua vez, permite uma análise numérica do comportamento de cada provete.

### **Organização e estruturação do texto**

Para facilitar a compreensão da organização desta dissertação, descreve-se de forma sucinta o que será desenvolvido em cada capítulo.

Os capítulos I, II e III destinam-se a uma síntese do estado da arte do conhecimento da humidade no interior dos edifícios, da higroscopicidade e do conhecimento do material, respectivamente.

No capítulo I existe uma abordagem do conhecimento da relação entre o conforto e a humidade e de que forma a humidade influencia no conforto dos habitantes. Neste capítulo pretende-se conhecer alguns conceitos gerais da humidade no interior dos edifícios bem como o conhecimento da classificação dos locais em função da higrometria.

O capítulo II sintetiza o conhecimento da higroscopicidade nos materiais e a inércia higroscópica que permite analisar o impacto dos materiais na variação da humidade relativa interior. Ainda neste capítulo faz-se uma pequena abordagem às estratégias utilizadas atualmente para controle higroscópico no interior dos edifícios.

O capítulo III apresenta o conhecimento do material: madeira. Neste capítulo incluem-se temas relacionados com o conhecimento das características e propriedades da madeira para a construção do sistema e escolha do melhor tipo de madeira a utilizar.

O capítulo IV engloba o sistema higroscópico desenvolvido onde há uma explicação do projeto e a sua fabricação. Procedem-se a uma avaliação experimental, em que é descrito o sistema de ensaio. Por fim, há uma análise de resultados de todos os provetes que serão sujeitos a ensaio, seguindo-se de uma análise conjunta integrada.

No capítulo V, por fim, apresentam-se as conclusões finais e os desenvolvimentos futuros.

I.

# **A HUMIDADE NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS**

Este primeiro capítulo aborda o estado da arte do conhecimento da humidade no interior dos edifícios que é a grande questão a resolver para melhor conforto térmico e durabilidade dos edifícios.

A humidade aparece sempre relacionada com a temperatura do ar e resulta de um conjunto de fatores que influenciam diretamente o conforto térmico e a saúde dos habitantes.

A produção de vapor de água num edifício varia conforme o compartimento e as atividades que nele são desenvolvidas.

O número de renovações de ar de um compartimento é outro aspeto que influencia a humidade relativa no interior dos edifícios. Estas renovações de ar podem ser feitas simplesmente com a abertura de vãos.

O valor de pressão parcial do vapor de água contida no ar não deve ser superior a um valor máximo designado de pressão de saturação de vapor de água, pois quando a água excede o limite de saturação ocorre condensação. Essa pressão de saturação corresponde a um valor limite de vapor por.

Estas relações entre a temperatura, a humidade absoluta e a humidade relativa podem ser analisadas através de um diagrama psicrométrico.

A higrometria resulta da relação entre a produção de vapor de água e a taxa de renovação do ar. Esta permite expressar o aumento da humidade interior em relação à humidade exterior. Desta forma existem diferentes classificações de higrometria para edifícios, de acordo com a sua produção de vapor.

## I.1. Relação entre o Conforto e a Humidade

A humidade em espaços interiores é um aspecto importante para ser avaliado devido às influências que causa no conforto térmico interior e até mesmo à influência que tem na durabilidade do edifício (Ferreira, 2008).

O clima e a qualidade do ar interior são características fundamentais de influência do conforto, da saúde dos utilizadores e da produtividade, uma vez que cerca de 80% a 90% do período de vida das pessoas é passado no interior dos edifícios (Ramos, 2007).

A humidade no interior dos edifícios deve-se a um conjunto de fatores dos quais se pode destacar, no âmbito deste trabalho, a pressão de vapor exterior, a temperatura interior, a taxa de renovação do ar interior e a produção de vapor de água.

Dependendo da temperatura, a humidade relativa máxima recomendada varia entre 60% a 80%, para as temperaturas mais elevadas e mais reduzidas, respetivamente. Estes limites estabelecidos em documentos normativos correspondem, no método de Fanger, a uma percentagem de insatisfação (PD) de 10% para uma humidade relativa de 60% e de 15% para uma humidade relativa de 80% (Ramos, 2007).

Analisando o gráfico da figura 1.1, podemos ver a relação entre a humidade relativa, a temperatura e a percentagem de insatisfação. Note-se que, para um limite superior de insatisfação de 15%, a humidade relativa a 24°C terá que ser 15% inferior do que o respetivo valor a 22°C, o que implica a necessidade de redução da pressão de vapor interior (Ramos, 2007).

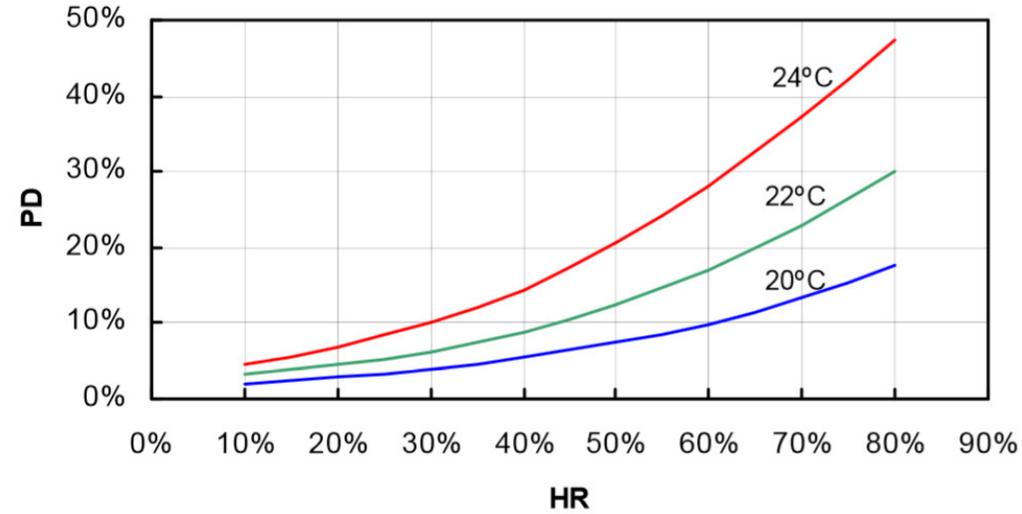


Figura 1.1 | Percentagem de insatisfeitos com o confortotérmico em função da temperatura e da humidade relativa (Ramos, 2007, p. 52)

Valores elevados de humidade relativa no interior dos edifícios (tipicamente, valores persistentes superiores a 80%) dão origem a um risco significativamente maior da presença de fungos e de bolores nos elementos construtivos, levando à sua degradação e a alterações prejudiciais no conforto dos ocupantes no que diz respeito à qualidade do ar interior (Ramos, 2007).

A única forma de limitar o desenvolvimento de fungos e, por sua vez, a degradação dos elementos construtivos, é controlar a quantidade de humidade que está no interior dos edifícios. Este limite de humidade deve por sua vez ser relacionado com os limites da temperatura do ar.

O desenvolvimento de fungos no interior dos edifícios leva ao desenvolvimento de problemas sobretudo respiratórios nos ocupantes tais como asma, rinites, alergias, conjuntivites e bronquites. Através desta relação estabelecida entre a humidade relativa e a saúde existem valores de humidade relativa ideais que vão desde os 30% aos 55%.

Na figura 1.2 estão representados os limites de humidade relativa do ar para diferentes parâmetros relacionados com a saúde dos utilizadores.

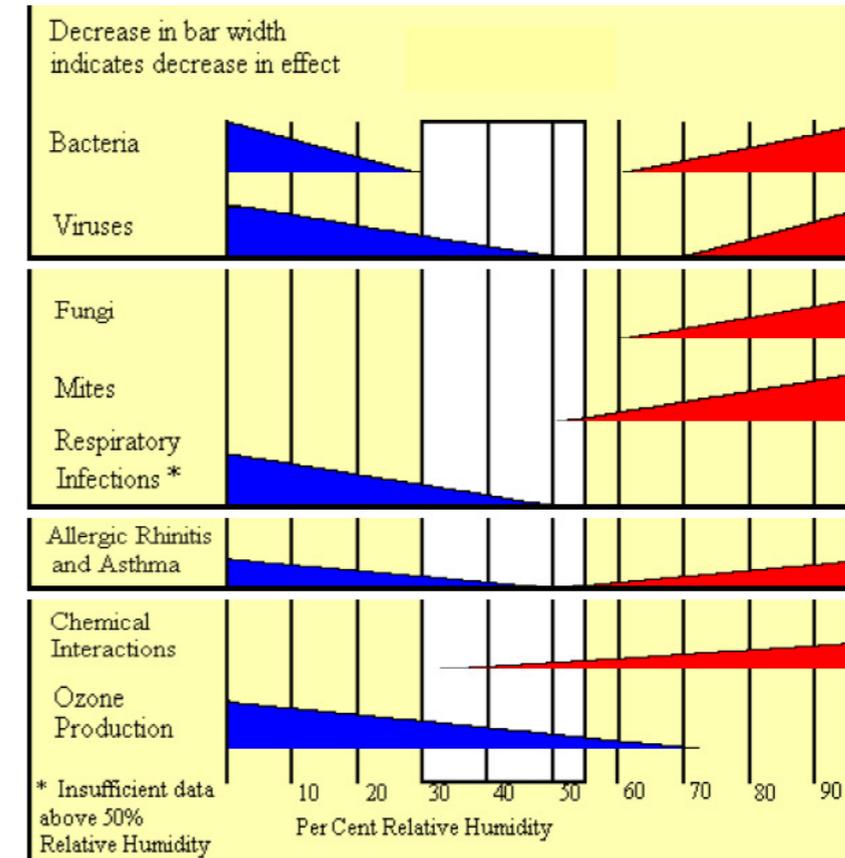


Figura 2 | O efeito da humidade em vários parâmetros relacionados com saúde e qualidade do ar interior, indicando que a humidade relativa ideal deveria situar-se entre 30% e 55% (Simonson, et al., 2001).

Na análise destes limites para o valor da humidade relativa do ar interior há que ter em conta a própria utilização dos compartimentos em questão.

Para além deste fator temos outros tais como o clima exterior e a atitude dos ocupantes face ao consumo de energia influenciam o próprio clima interior.

Assim sendo, nas tabelas 1.1 e 1.2 aparecem apresentados alguns valores de produção de vapor associados a diferentes atividades humanas.

Tabela 1.1 | Alguns valores da produção de vapor em edifícios (Ramos, 2007, p. 59)

Fonte de vapor		Valor (g/h)
<b>Humanos</b>	Atividade reduzida	30-60
	Atividade intermédia	120-200
	Atividade elevada	200-300
<b>Higiene</b>	Banho	~ 700
	Duche	~ 2600
<b>Cozinha</b>		600-1500
<b>Plantas em vasos</b>		5-20
<b>Secagem de roupa (4,5Kg)</b>	Após centrifugação	50-200
	Sem centrifugação	100-500

Tabela 1.2 | Estimativa da produção de vapor em atividades domésticas (Ramos, 2007, p. 59)

Atividade	Vapor de água (g/dia)
<b>Cozinhar a eletricidade</b>	2000
<b>Cozinhar a gás</b>	3000
<b>Lavagem de loiça</b>	400
<b>Banho (por pessoa)</b>	200
<b>Lavagem de roupa</b>	500
<b>Secagem de roupa no interior de um compartimento (por pessoa)</b>	1500

Podemos através destas tabelas chegar a uma conclusão de que durante todo o dia temos diferentes valores de produção de vapor de água no interior.

Com base em referências que já foram pesquisadas no trabalho de Nuno Ramos, a produção de vapor interior assume um valor de 8kg/dia para uma família de duas pessoas; este valor aumenta logo para 12kg/dia com mais uma criança e, por sua vez, aumenta para 14kg/dia com duas crianças.

Por outro lado, outro tipo de comportamentos tem uma influência decisiva no valor da humidade relativa interior, como é o caso de alterações na taxa de renovações de ar resultantes, por exemplo, de uma simples abertura de vão durante o dia.

Deste modo existem condições de fronteira que influenciam a humidade relativa no interior dos edifícios e que, de uma forma simplificada, i.e. em regime permanente, dependem da fixação dos valores do caudal de ventilação,  $N.V$ , da produção de vapor,  $M_{\text{ganhos}}$ , da pressão de vapor exterior,  $P_{v,e}$ , e da temperatura interior  $T_i$ .

Em casos com regime variável o caudal de ventilação, a pressão de vapor exterior e a temperatura interior, são constantes.

Deste modo afirmar que a diminuição da pressão de vapor interior, por aumento da ventilação, só implica melhorias significativas até um determinado valor e depende, por sua vez, da produção de vapor interior (Ramos, 2007).

Com isto e através da análise da figura 1.3 conclui-se que a pressão de vapor interior ( $P_{v,i}$ ) e a pressão de vapor exterior ( $P_{v,e}$ ) aumenta com a diminuição do volume, se os outros parâmetros permanecerem constantes.

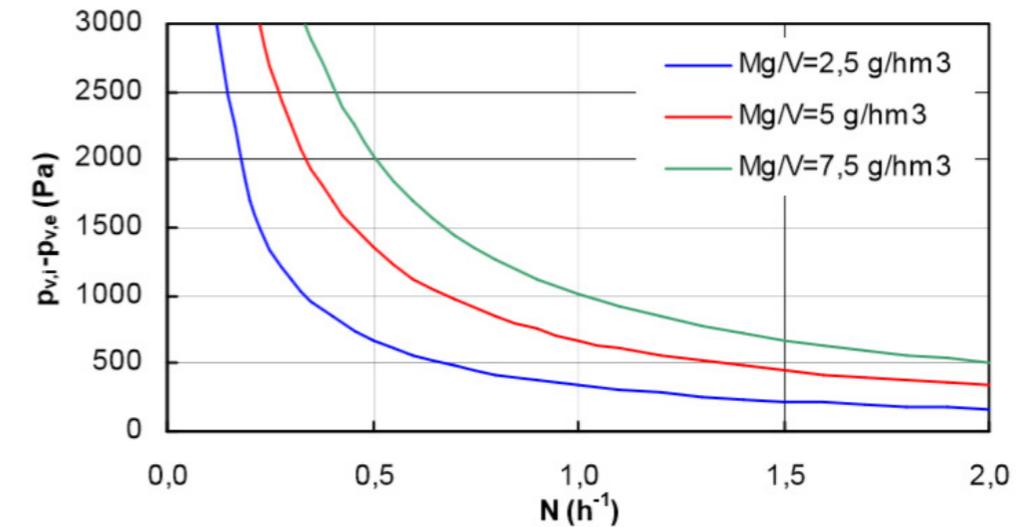


Figura 1.3 | Relação entre a diferença de pressão interior e exterior e o número de renovações horárias para um exemplo  $V=30$  e  $M_{\text{ganhos}}$  toma os valores 75, 150 e 225g/h (Ramos, 2007, p. 67).

## 1.2. Conceitos Gerais de Humidade Relativa no Interior dos Edifícios

Como já foi descrito anteriormente, a humidade relativa do ar desempenha um papel determinante na perceção de conforto térmico no interior dos edifícios. Por outro lado, a humidade relativa depende da temperatura do ar. Estes dois fatores não agem individualmente, o que justifica a análise do ambiente termo-higrométrico que corresponde à mistura de ar com o vapor de água (Rodrigues, et al., 2009).

Num estudo higrométrico, a psicrometria aproxima o ar atmosférico a uma mistura de dois únicos componentes: ar seco, que corresponde aos gases constituintes do ar e o vapor de água, a parcela que fica sujeita ao fenómeno da condensação. O conjunto destas duas componentes constitui o ar húmido (Rodrigues, et al., 2009).

A relação entre estas variáveis de estudo é descrita pela equação 1.2.1:

$$pV=mRT \quad (1.2.1)$$

em que,

p: pressão parcial [Pa];

V: volume [m<sup>3</sup>];

m: massa [kg];

R: constante dos gases para ar seco (287,055 J/kg.k);

T: temperatura absoluta [K].

É importante ter em conta que a pressão parcial do vapor de água contida no ar,  $p_w$ , não pode ser superior a um valor máximo,  $p_s$ , designada de pressão de saturação de vapor de água. O vapor de água que excede o limite de saturação condensa. A pressão de saturação é função da temperatura do ar.

A massa de vapor de água contida em cada unidade de volume de ar,  $\rho_w$ , e que corresponde a determinada pressão parcial, designa-se por humidade absoluta,  $\rho_w$ , e é representado por:

$$\rho_w = \frac{P_w}{461(273,15 + \theta)} \text{ (kgH}_2\text{O/m}^3\text{)} \quad (1.2.2)$$

À pressão de saturação corresponde também um valor limite de massa de vapor de água por unidade de volume, designado por limite de saturação,  $\rho_{ws}$ .

A humidade relativa do ar, HR, corresponde à relação entre a quantidade de vapor de água por unidade de volume de ar húmido e a quantidade de vapor de água correspondente à saturação, para uma dada temperatura (eq. 1.2.3 e eq. 1.2.4).

$$HR = \frac{P_w}{P_s} \times 100 \text{ [%]} \quad (1.2.3)$$

$$HR = \frac{H_a}{L_s} \times 100 \text{ [%]} \quad (1.2.4)$$

em que,

HR: humidade relativa [%];

$P_w$ : pressão parcial do vapor de água contida no ar [Pa];

$P_s$ : pressão de saturação de vapor de água [Pa];

$H_a$ : humidade absoluta [ $g/m^3$ ];

$L_s$ : limite de saturação [ $g/m^3$ ].

Uma vez que a pressão de saturação é função da temperatura, para uma pressão parcial de vapor constante a humidade relativa decresce com o aumento da temperatura do ar (Jorne, 2010).

A relação entre a temperatura, a humidade absoluta e a humidade relativa pode ser caracterizada através do diagrama psicométrico, representado, de forma simplificada, na figura 1.4.

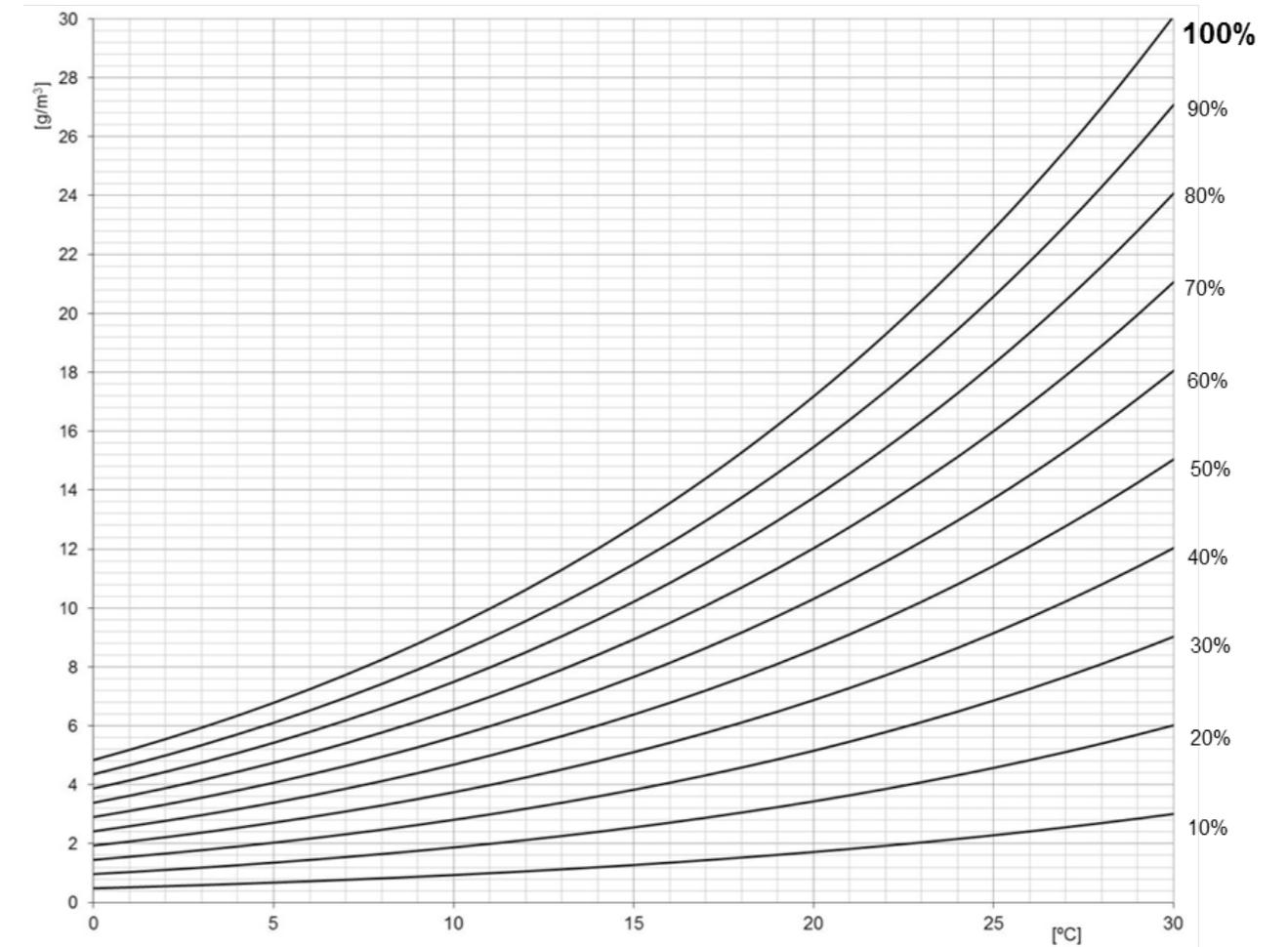


Figura 1.4 | Diagrama psicométrico simplificado.

### 1.3. Higrometria em Espaços Interiores

A quantidade de vapor de água no ar resulta do equilíbrio entre a produção de vapor e a taxa de renovação do ar. Este tipo de relação, designado por higrometria, permite expressar o aumento da humidade interior em relação à humidade exterior (eq. 1.3.1) (Faustino, 1997).

$$W_i = W_e + \frac{W}{n \cdot V} \times 0,825 \quad (1.3.1)$$

em que:

$W_i$ : humidade absoluta do ar interior, [g/kg];

$W_e$ : humidade absoluta do ar exterior, [g/kg];

$W$ : produção de vapor no interior [g/h];

$n$ : taxa de renovação do ar [ $h^{-1}$ ];

$V$ : volume interior [ $m^3$ ].

De acordo com o tipo de utilização, nomeadamente com o padrão de produção de vapor no interior, os edifícios podem ser classificados em função da sua higrometria, conforme descrito na tabela 1.3.

As classes higrométricas são úteis para a definição de limites de produção de vapor, para avaliação dos riscos de ocorrência de condensações no interior dos espaços dos edifícios. Segundo Nuno Ramos, além de uma abordagem em relação às condensações internas também existe um método de cálculo de temperatura superficial interior mínima, para prevenir o desenvolvimento de fungos (Ramos, 2007).

Tabela 1.3 | Classificação dos locais em função da higrometria (Ramos, 2007, p. 68).

Fraca Higrometria	$\frac{M_{ganhos}}{n \cdot V} \leq 2,5 g/m^3$	- edifícios industriais sem produção de vapor; - edifícios de armazenamento (stockagem); - oficinas de mecânicas; - pavilhão de desportos sem público; - escritórios sem ar condicionado; - escolas.
Média Higrometria	$2,5 \leq \frac{M_{ganhos}}{n \cdot V} \leq 5,0 g/m^3$	- edifícios de habitação não sobre ocupados e corretamente aquecidos e ventilados;
Forte Higrometria	$5,0 \leq \frac{M_{ganhos}}{n \cdot V} \leq 7,5 g/m^3$	- edifícios de habitação sobre ocupados e mediocrementemente ventilados; - locais com forte concentração humana ou animal; - locais com forte produção de vapor de água (piscinas, saunas, banhos turcos, indústrias de conserva, tintas, papel e laticínios, salas de lavagem de garrafas, cozinhas industriais, lavandarias, etc); - locais com atmosfera húmida controlada pelas necessidades de fabrico dos produtos (padarias e pastelarias industriais, salas de pintura, fotografia, etc.);
Muito Forte Higrometria	$\frac{W}{n \cdot V} \geq 7,5 g/m^3$	- locais sanitários de coletividades; - locais especiais semelhantes a locais industriais que necessitem de manter uma humidade relativa elevada

**II.**

**HIGROSCOPICIDADE**

Este capítulo II corresponde em primeiro lugar a uma síntese do estado da arte do conhecimento da higroscopicidade dos materiais.

Os materiais que têm capacidade higroscópica possuem diferentes etapas de adsorção quando expostos a ambientes húmidos.

Existem desta forma métodos de cálculo da humidade que o material é capaz de absorver, bem como o cálculo da transferência de humidade através da superfície do material.

Esta capacidade higroscópica dos materiais leva a um outro ponto importante de analisar que é a inércia higroscópica que resulta da capacidade de amortecimento das variações de pressão de vapor no interior de um edifício através desses fenómenos de adsorção e desadsorção dos materiais.

Com base na inércia higroscópica existe uma definição dos revestimentos interiores de um determinado compartimento, na qual pode-se seleccionar um material relacionando a sua inércia higroscópica com as variações de amplitude média diária relativa HR.

Por último, aparecem descritas as estratégias de controle higrométrico no interior dos edifícios que resultam em três: a renovação de ar por meios mecânicos; a renovação de ar por ventilação natural e o recurso às propriedades higroscópicas dos materiais em contato com o ambiente interior. Esta última estratégia é a que se destaca neste caso de estudo, por ser um meio passivo que tira partido do comportamento dos próprios materiais, sem recurso a meios mecânicos.

## II.1. Higroscopicidade dos Materiais

A quantidade de água num material pode variar entre o estado de secagem absoluta e a humidade máxima, passando por diferentes fases entre estes valores (Ramos, 2000)

No domínio de absorção resultante da exposição a ambientes húmidos (mas sem contacto com água líquida) – domínio higroscópico, o material passa por três fases de teor de humidade, cuja análise pode ser obtida pela curva de armazenamento de humidade.

Podem deste modo definir-se o intervalo de adsorção monomolecular, o intervalo de adsorção plurimolecular e o intervalo de condensação capilar (figuras 2.1 e 2.2). No domínio higroscópico, o teor de humidade de um material está associado à humidade relativa a que está exposto (Jorne, 2010).

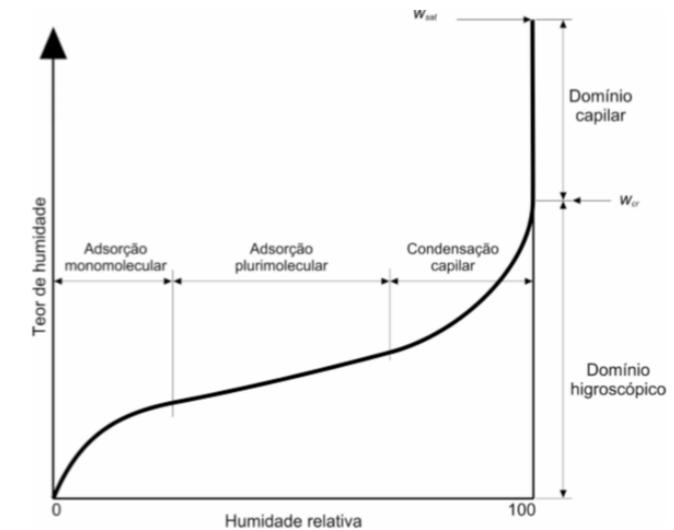


Figura 2.1 | Percurso típico de uma curva higroscópica (Ramos, 2007, p. 43).

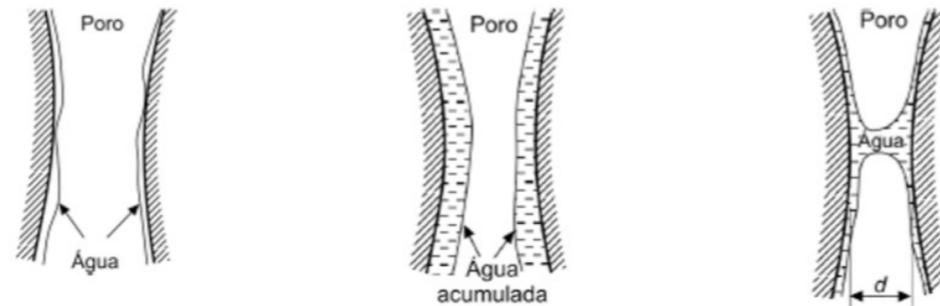


Figura 2.2 | Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro (Ramos, 2007, p. 42).

É importante a definição do fenómeno de adsorção, na medida em que pode ser confundido com o de absorção. A adsorção corresponde à ligação de moléculas ou partículas numa superfície, enquanto absorção é o preenchimento dos poros de um material sólido. A desadsorção por sua vez é o inverso da adsorção, correspondendo desta forma à diminuição da concentração de moléculas de água no poro (Jorne, 2010).

A adsorção monomolecular corresponde à fixação de moléculas de água na superfície do poro; a adsorção plurimolecular corresponde à fixação de várias camadas de moléculas de água sobre a anterior; por último, a condensação capilar corresponde à junção das camadas plurimoleculares. Nesta última etapa, o material é progressivamente preenchido com água (Jorne, 2010).

A relação entre o valor de equilíbrio da quantidade de humidade de um material e a humidade relativa é apresentada através da curva higroscópica.

É importante referir que o intervalo higroscópico não é apenas determinado pela humidade relativa, mas também pela temperatura. Desta forma, a uma maior concentração de vapor de água corresponde uma taxa maior de adsorção, enquanto que a temperaturas mais elevadas há uma maior taxa de desadsorção (Jorne, 2010).

Por sua vez a capacidade de armazenamento de humidade de um material depende do ciclo diário escolhido, descrito pelo  $MBV_{ideal}$  (Moisture Buffer Value) de acordo com a seguinte expressão:

$$MBV_{ideal} \approx \frac{2,252 (A_1 \cdot (1 - A_1))^{0,535}}{100 \times \sqrt{\pi}} \times P_{sat} \times b_m \times \sqrt{tp} \quad [g/m^3 \cdot \% RH] \quad (II.1.1)$$

em que:

$MBV_{ideal}$ : Moisture Buffer Value;

$A_1$ : fração do período diário [-];

$p_{sat}$ : pressão de saturação [Pa];

$b_m$ : efusividade higríca [ $kg/m^2 \cdot Pa \cdot s^{1/2}$ ];

$tp$ : intervalo de tempo [s].

A efusividade higríca, utilizada para determinação da taxa de transferência de calor através da superfície do material, por analogia com o conceito de efusividade térmica, determina-se de acordo com a equação II.1.2:

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta \rho \cdot \rho_s \cdot \xi_u}{\rho_{sat}}} [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \rho_a \cdot \text{s}^{1/2})] \quad (\text{II.1.2})$$

em que:

$\delta\rho$ : permeabilidade ao vapor [ $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ];

$\rho_s$ : massa volúmica [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$\xi_u$ : capacidade específica [ $\text{kg}/\text{kg}$ ];

$P_a$ : pressão de saturação [ $\text{Pa}$ ].

## II.2. Inércia Higroscópica

A inércia higroscópica pode definir-se como a capacidade de amortecimento das variações de pressão de vapor no interior de um edifício como resultado de fenómenos de adsorção/desadsorção por parte dos materiais. O efeito de amortecimento e as respetivas variações na pressão de vapor podem ser analisados em intervalos de tempo distintos. É geralmente adequado considerarem-se as inércias higroscópicas diária (variações de humidade diárias) e sazonal (variações de humidade anuais) (Ferreira, 2008).

A capacidade de armazenamento de humidade depende de uma série de fatores: da capacidade de adsorção que cada material possui, do mobiliário, da produção de vapor, do número de renovações horárias e da relação entre a área superficial do material e o volume de ar (Ferreira, 2008).

Esta capacidade de armazenamento de humidade pode ser tratada a diferentes níveis: o nível básico relativo às propriedades do material; um nível intermédio relativo ao comportamento de um determinado sistema construtivo composto; um nível mais abrangente, relativo ao desempenho de um determinado compartimento (Ferreira, 2008).

Alguns materiais, quando expostos em ambientes interiores, têm a capacidade de adsorver e, posteriormente, devolver humidade, equilibrando assim as variações de humidade relativa no interior dos edifícios. Os materiais que têm essa capacidade são materiais o gesso cartonado, o gesso projetado, rebocos à base de gesso e cal e a madeira sem tratamento. Estes são materiais possíveis de se utilizar para a criação de um sistema passivo no controlo das condições climáticas interiores (Ferreira, 2008).

Tal como descrito por Cláudia Ferreira, para se poder controlar as condições climáticas no interior dos edifícios deve-se ter em conta alguns aspetos tais como: a construção de paredes exteriores espessas, a redução das áreas de vãos envidraçados, o correto dimensionamento do caudal de ventilação, a utilização de materiais higroscópicos em revestimentos interiores, a aplicação de instalações e equipamentos mecânicos dimensionados corretamente (Ferreira, 2008).

Nuno Ramos apresenta num dos seus trabalhos uma forma simples do conceito de inércia higroscópica diária, baseada num sistema de classes na qual existem diferentes níveis de amortecimento da variação da humidade relativa interior. A figura 2.3 corresponde a um gráfico que relaciona os parâmetros Índice de Inércia Higroscópica Diária,  $I_{h,d}$ , e Amplitude Média Diária Relativa, AMDR que faz uma parte do desenvolvimento do seu trabalho. Esta relação tem como objetivo a obtenção de classificação para compartimentos, o que permite uma perceção do impacto dos revestimentos interiores na variação da humidade relativa interior (Ramos, 2007).

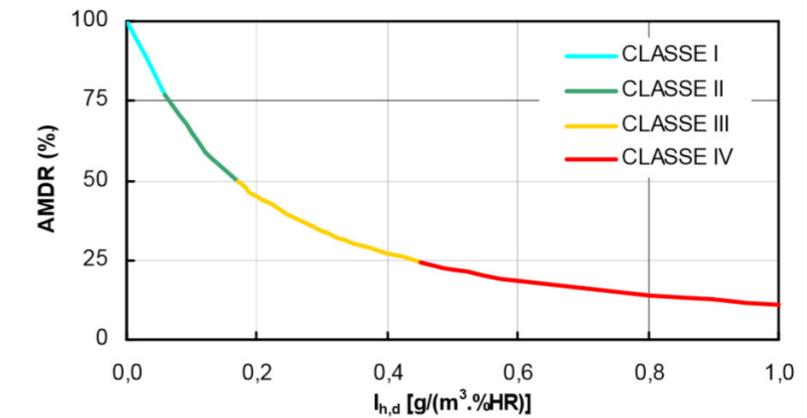


Figura 2.3 | Gráfico da relação ( $I_{h,d}$ , AMDR) com delimitação das classes de inércia higroscópica diária propostas (Ramos, 2007, p. 263).

Tabela 2.1 | Classes de inércia higroscópica diária (Ramos, 2007).

<b>Classe I</b>	$0 \leq I_{h,d} < 0,06$	$100\% \geq \text{AMDR} > \sim 75\%$
<b>Classe II</b>	$0,006 \leq I_{h,d} < 0,17$	$\sim 75\% \geq \text{AMDR} > \sim 50\%$
<b>Classe III</b>	$0,17 \leq I_{h,d} < 0,45$	$\sim 50\% \geq \text{AMDR} > \sim 25\%$
<b>Classe IV</b>	$0,45 \leq I_{h,d}$	$\sim 25\% \geq \text{AMDR}$

No seguimento do gráfico da figura 2.3, o índice de inércia higroscópica diária  $I_{h,d}$  possibilita a definição dos revestimentos interiores de um determinado compartimento, fixando uma classe mínima de inércia higroscópica diária para esse compartimento. Esta relação obtem-se através da equação II.2.1:

$$I_{h,d} = \frac{\sum_i MBV_i \cdot S_i + \sum_j^m MBV_{obj,j}}{N \cdot V \cdot TG} \quad (II.2.1)$$

em que:

$I_{h,d}$ : índice de inércia higroscópica diária [g/(m<sup>3</sup>.%HR)];

MBV: moisture buffer value [g/(m<sup>2</sup>.%HR)];

N: número de renovações horárias [h<sup>-1</sup>];

V: volume [m<sup>3</sup>];

TG: período do ciclo diário [h].

O parâmetro AMDR, que aparece relacionado com o  $I_{h,d}$ , corresponde à amplitude média diária relativa e permite quantificar o amortecimento produzido pelos revestimentos interiores em diferentes cenários higrotérmicos, em comparação com cenários adjacentes mas de inércia higroscópica nula. Este parâmetro é obtido através da seguinte equação:

$$AMDR = \frac{1}{0,00998 + 0,0793 \times I_{h,d}^{1,16}} [\%] \quad (II.2.2)$$

### II.3. Estratégias de Controle Higrométrico no Interior dos Edifícios

Existem três estratégias de controle higrométrico para o interior dos edifícios: a renovação de ar por meios mecânicos, a renovação de ar por ventilação natural e o recurso às propriedades higroscópicas dos materiais em contacto com o ambiente interior. Estas duas últimas são consideradas estratégias passivas, uma vez que não implicam, no seu funcionamento, o recurso a fontes de energia externas, enquanto que a primeira configura uma estratégia ativa.

Os sistemas mecânicos podem assegurar apenas renovação de ar ou permitirem níveis de controlo progressivamente mais complexos, incluindo a climatização e a humedificação.

Os sistemas de ventilação natural permitem o controlo dos níveis de humidade absoluta interior, possibilitando a troca por ar fresco relativamente limpo (Ramos, 2007).

A ventilação é importante para a qualidade do ar interior, para o conforto térmico e para a prevenção de riscos de condensação.

Devido às grandes transformações que se verificaram nos sistemas construtivos, e na construção em geral, verificou-se um aumento significativo da estanquidade da envolvente do edifício que vem, por exemplo, evitar a entrada de ar pelas frinchas das caixilharias. Este facto tem conduzido ao aumento do uso de meios mecânicos que garantem, nestas condições, as renovações de ar necessárias num espaço durante o dia. A ventilação mecânica pode funcionar de três maneiras: por insuflação, por extracção ou misto (Silva, 2006).

#### Higroscopicidade

Para a utilização de sistemas mecânicos é importante calcular as necessidades de ventilação do espaço para programar o mesmo. Este tipo de sistema surge através da introdução de ventiladores e condutas de admissão e exaustão, que têm grandes gastos de energia e necessitam de grandes manutenções.

No atual contexto energético, as estratégias passivas têm merecido maior atenção no projeto de edifícios e espaço exterior. Neste sentido, o desenvolvimento de sistemas passivos para apoio ao controlo da humidade em espaços interiores, baseados em materiais higroscópicos, parece oportuno.

**III.**

**CONHECIMENTO  
DO MATERIAL**

Neste tema serão abordadas as questões mais direcionadas ao próprio material – madeira.

Desde os primeiros tempos da vida do Homem que a madeira é utilizada, partindo desde a simples construção com dois prumos circulares de madeira até ao seu uso variado atualmente. Este material por ser uma natural possui uma série de características negativas e positivas que interessam ser abordadas para melhor usufruto do mesmo.

Assim sendo este capítulo aborda em grande parte uma das suas características considerada negativa que é a higroscopicidade, mas que interessa para este estudo conhecer o comportamento da madeira neste contexto e assim sendo estuda-se a influência da água no material. Devido a essa sua característica higroscópica, a madeira encontra-se sempre sujeita a alterações de adsorção e desadsorção de água, e por essa razão o seu equilíbrio higroscópico apenas é observado quando esses dois fenómenos registarem a mesma taxa de variação. Desta forma, apenas nessa condição a madeira encontra-se em equilíbrio de água perante as condições ambientais.

Em relação às propriedades da madeira ela é avaliada pelas suas características físicas que são: a higroscopicidade, a retractilidade e a densidade ou massa volúmica; e pelas suas características mecânicas que são: a resistência à tração axial, a resistência à flexão estática e a resistência à flexão dinâmica. Devido a estas propriedades serem diferentes em direcções diferentes o material é considerado anisotrópico. Este é um parâmetro importante a considerar pela sua influência no corte.

Por último, pela grande evolução que houve na madeira, sobretudo os derivados que surgiram desta, interessa analisar a higroscopicidade da madeira e dos seus derivados como forma de comparação e seleção da madeira mais adequada para o uso pretendido.

### III.1. Madeira

A madeira é um material natural que existe desde sempre. É com a utilização da madeira que surge a primeira estrutura apenas com dois prumos para servir de abrigo, que vai evoluindo consoante as necessidades do mesmo.

Nos final do século XIX a madeira atingiu um grande grau de evolução deixando de ter mais progressos, pois com o aparecimento do aço criaram-se estruturas mais sofisticadas deixando de ser a madeira o material predominante (Coutinho, 1999).

Sendo a madeira um material natural de origem biológica, este contém algumas vantagens e desvantagens. Quanto às suas vantagens a madeira é um material que, por ser natural, é disponibilizado a preços relativamente baixos e em grande abundância; é um material que pode ser trabalhado com ferramentas simples; pode ser reutilizado; é um material resistente à compressão e tracção; tem uma boa relação entre a massa volúmica e a resistência mecânica quando comparada, por exemplo, com o betão; apresenta boas características de isolante térmico complementar e de absorção acústica e possibilita ligações fáceis (Coutinho, 1999).

Consideram-se desvantagens da madeira o facto de ser um material heterogéneo e anisotrópico; por sofrer alterações quando exposto a agentes externos, tendo assim uma durabilidade limitada quando o material não é tratado; ser combustível e ter variações dimensionais que, em comparação com outros materiais de construção correntes, são elevadas devido às variações de humidade, ou seja a madeira é um material higroscópico.

Estas características, que são geralmente consideradas desvantagens do material, são as que mais interessam para o desenvolvimento do sistema no âmbito do trabalho a desenvolver, sobretudo a sua capacidade de absorção da humidade – a sua higroscopicidade.

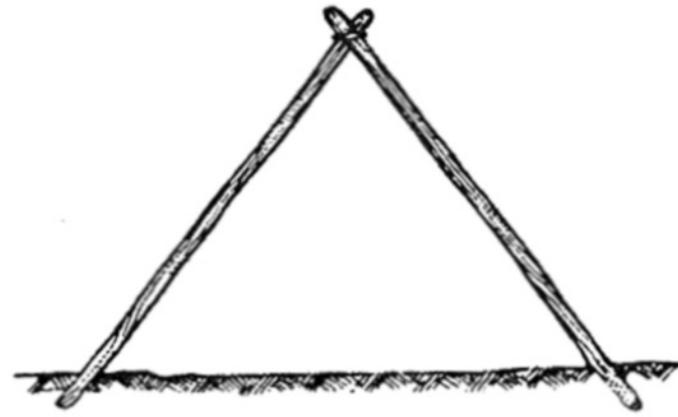


Figura 3.1 | Estrutura mais simples de cobertura: dois prumos circulares cravados no solo e ligados no vértice (Cruz & Nunes, s.d.) (Coutinho, 1999).

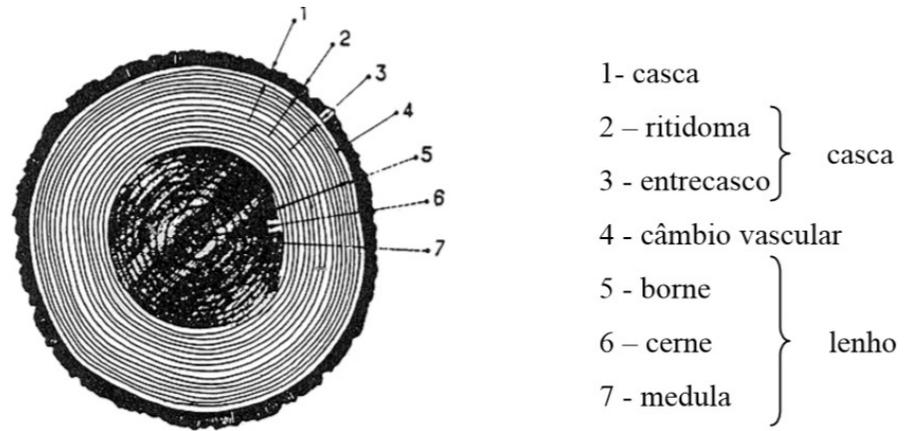


Figura 3.2 | Corte transversal do caule de uma árvore (Coutinho, 1999).

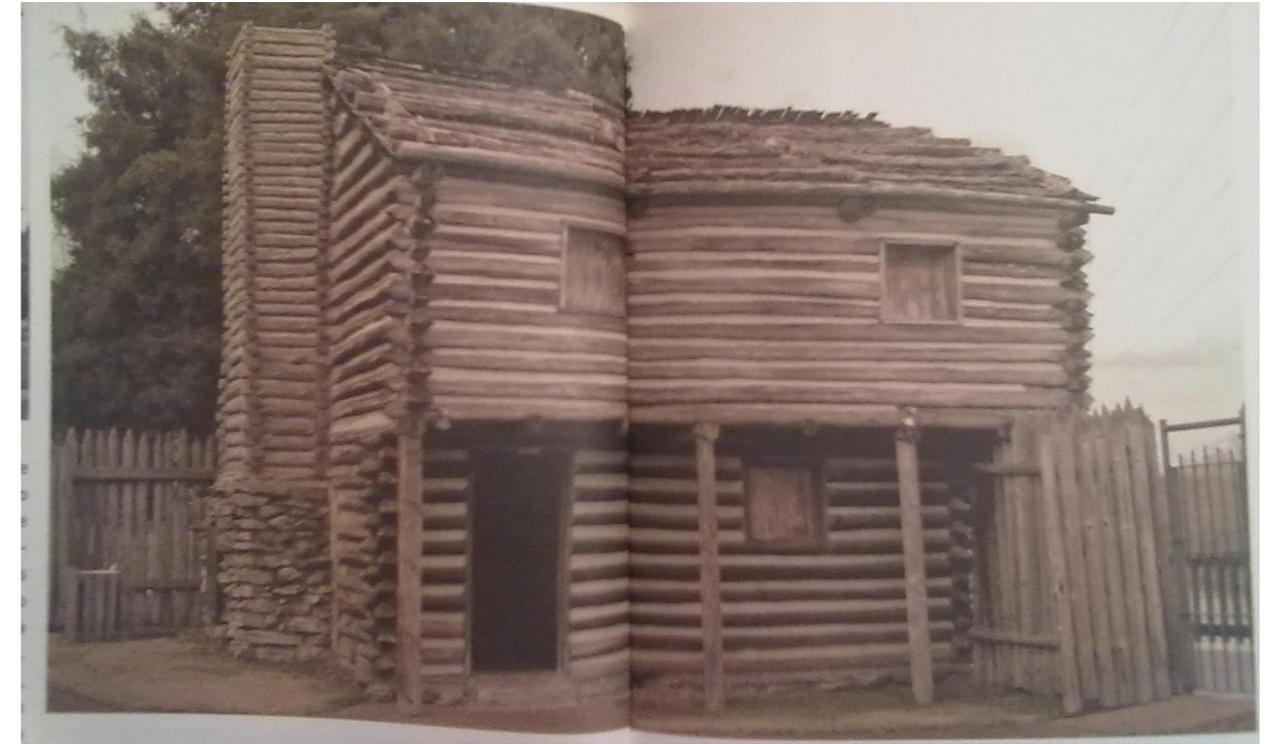


Figura 3.3 | Construída em 1930, a réplica do Fonte Nashborough, em Nashville, Tennessee, destaca as técnicas estruturais utilizadas pelos pioneiros (Bahamón; Vicens, 2008).

### III.2. Tipos de Madeira

Existem dois grandes grupos botânicos de madeira mais comuns, sendo esses compostos pelas Gimnospérmicas e pelas Angiospérmicas. Esses grupos botânicos são mais conhecidos como sendo as resinosas e as folhosas respectivamente.

As árvores resinosas contém folhas lineares e correspondem, por exemplo, ao abeto branco ou pinho abeto, o espruce, a casquinha, o pinho bravo, o pinho larício, o pinho americano e o pinho de oregão.

As folhosas, geralmente com folhas largas e planas, correspondem a árvores tais como a câmbala, o carvalho, o eucalipto, o castanho, a teca e o ipê.

Estas duas espécies diferem uma da outra em relação a alguns parâmetros. As folhosas têm uma contração longitudinal próxima de 1% enquanto que nas resinosas esse valor varia entre 6% a 7%; as folhosas apresentam uma grande resistência à tração no seu estado seco, menor quando está verde, enquanto as resinosas têm um menor módulo de elasticidade, resistência ao impacto e resistência à tração quando comparado com as anteriores (Klock, et al., 2005).

Desta forma, pode verificar-se que as características destas duas espécies são diferentes a nível das resistências mecânicas, propriedades de rigidez e de densidade, o que resulta da sua própria diferença na constituição do lenho, tal como pode ser observado nas figuras 3.4 e 3.5.

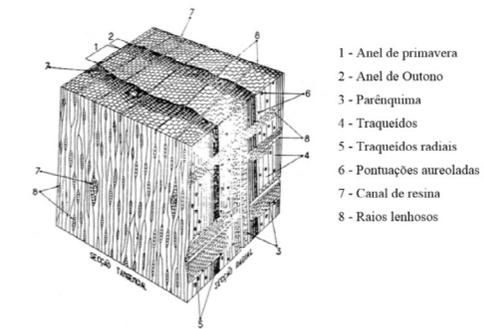


Figura 3.4 | Estrutura do lenho de uma resinosa (Coutinho, 1999).

O lenho das resinosas caracteriza-se por ser composto por traqueídeos que são células semelhantes a tubos finos (fibras) com a função dupla de condução da seiva e suporte mecânico; raios lenhosos que são raios finos que se desenvolvem de forma radial e têm a função de condução e armazenamento de substâncias nutrientes no sentido radial do tronco; e por resina.

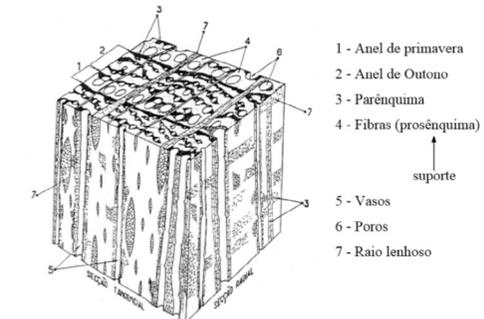


Figura 3.5 | Estrutura do lenho de uma folhosa (Coutinho, 1999).

O lenho das folhosas caracteriza-se por ser constituído por: vasos que são tubos que permitem o fluxo da seiva através do lenho; fibras que constituem os elementos de resistência e sustentação das árvores; parênquima que corresponde a células curtas que fazem a distribuição e reserva de hidratos de carbono; raios lenhosos que são células do parênquima que fixa as fibras no sentido radial (Coutinho, 1999).

### III.3. Propriedades da Madeira

Para a escolha de uma madeira deve-se ter em conta as suas propriedades que, por sua vez, variam de acordo com a espécie botânica da madeira que já foi descrita neste capítulo, a massa volúmica do material, a localização da peça no lenho, a presença de defeitos, a humidade e a temperatura (Coutinho, 1999). Estas propriedades têm todas efeitos que condicionam a sua escolha de acordo com o que pretendemos.

A madeira é avaliada nas suas propriedades físicas e mecânicas. As propriedades físicas tratam de propriedades tais como a higroscopicidade, a retratilidade e a densidade ou massa volúmica. Em relação às propriedades mecânicas, estas aparecem como forma de definir o comportamento da madeira em relação aos esforços a que está submetida (Pereira, 2009). As propriedades mecânicas incluem a resistência à tração axial, a resistência à flexão estática e a resistência à flexão dinâmica.

Algumas destas propriedades foram já referidas ao longo do trabalho. Porém, é importante perceber outras propriedades, tais como retractilidade e a massa volúmica. A retratilidade é consequência da quantidade da água que a madeira contém, abrangendo aretração e expansão da peça. A forma de se reduzir as consequências indesejáveis desta propriedade é utilizando a peça de madeira com teores de humidade compatíveis com o meio ambiente. Em relação à massa volúmica, é importante porque faz a distribuição e contração do material.

Quando a massa volúmica aumenta, geralmente a resistência mecânica também aumenta. Os fatores que influenciam a massa volúmica são: a espécie, o teor de água, o lenho inicial e o lenho tardio, a posição no tronco e as influências externas que correspondem ao clima, a humidade do solo, a altitude onde se encontra, entre outros aspetos.

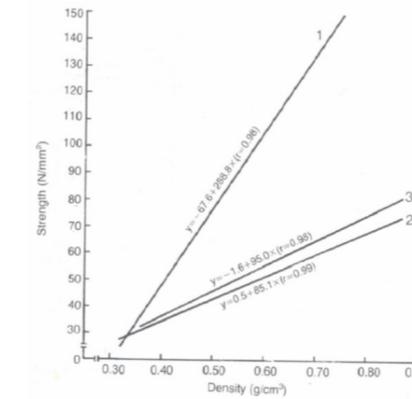


Figura 3.6 | Relação da resistência mecânica com a densidade: 1 – flexão estática; 2 – compressão axial; 3 – dureza (Pereira, 2009).

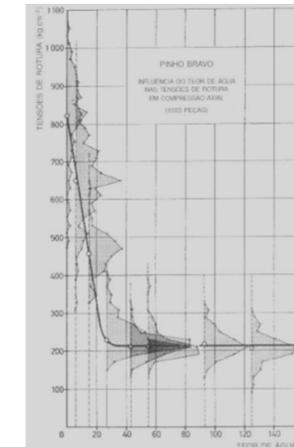


Figura 3.7 | Relação entre o teor em água e a resistência (Cruz & Nunes, s.d.) e

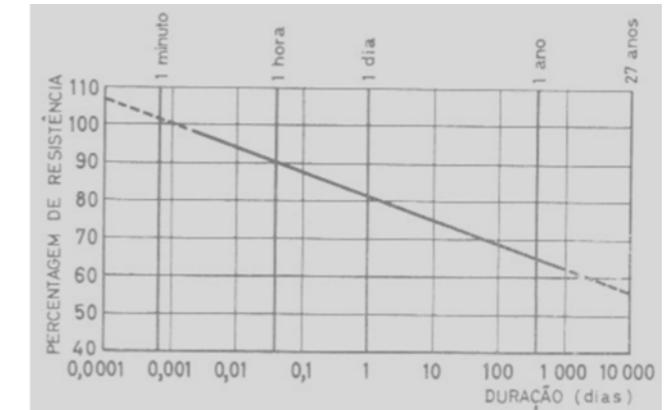


Figura 3.8 | Relação entre o tempo de atuação das cargas e a resistência (Cruz & Nunes, s.d.)

Em relação às propriedades mecânicas, pelo facto de a madeira ser um material anisotrópico, interessa conhecer as propriedades nas suas três direções tal como pode-se observar na figura 3.9 (Pereira, 2009).

Um material tem um valor máximo para a resistência à compressão quando a madeira está seca, ou seja no estado anidro.

A resistência à tração perpendicular às fibras não varia com a massa volúmica como acontece com outras propriedades (Pereira, 2009).

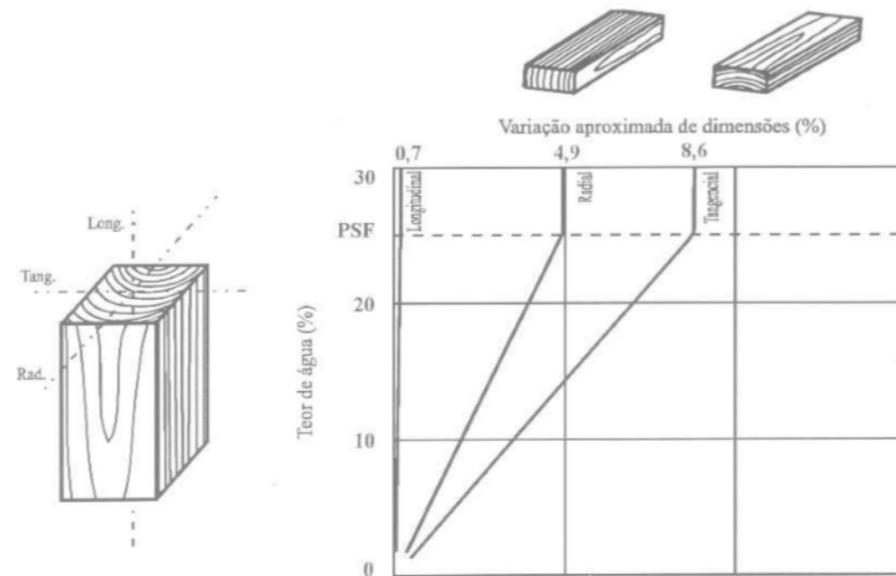


Figura 3.9 | Direções tangencial, radial e longitudinal e respetivos coeficientes de retração em termos relativos (valores médios para o pinho bravo) (Cruz & Nunes, s.d.).

A madeira é considerada um material anisotrópico por ter propriedades físicas e mecânicas diferentes em direções diferentes, tal como se pode observar nas figuras 3.10 e 3.11. É descrita por ter propriedades no plano x e y (plano paralelo às fibras) no plano z (plano perpendicular às fibras) (Sousa, 2012).

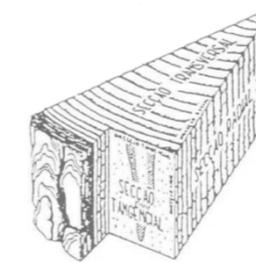


Figura 3.10 | Planos da madeira (Cruz & Nunes, s.d.).

Este parâmetro é importante ser estudado devido à influência que tem para o corte da madeira, que por sua vez influencia na resistência do material. Cada uma das direcções contém propriedades diferentes.

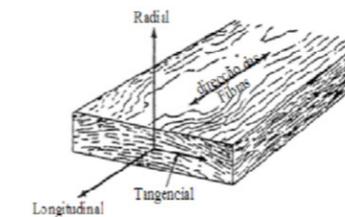


Figura 3.11 | As três direções segundo as quais a madeira exhibe diferentes propriedades: Radial, Longitudinal e Tangencial (Pereira, 2009).

### III.4. Água na Madeira e Higroscopicidade da Madeira Maciça e Derivados

A árvore possui água em três tipos de estados: água de constituição que é a água que as madeiras contêm no seu abate, correspondente a 52% nas folhosas e 57% nas resinosas; água de embebição que corresponde a água presente nas paredes das células, ainda sem chegar aos espaços vazios das células e quando começa a preencher esses espaços vazios diz-se que é o ponto em que a madeira atingiu o seu ponto de saturação das fibras (PSF) (Coutinho, 1999).

Quando se atinge o PSF, os espaços capilares das células começam a encher-se de água, o que origina uma situação de existência de água livre na madeira, na qual se atingiu um ponto de saturação das fibras (ver figura 3.6), (Cruz & Nunes, s.d.).

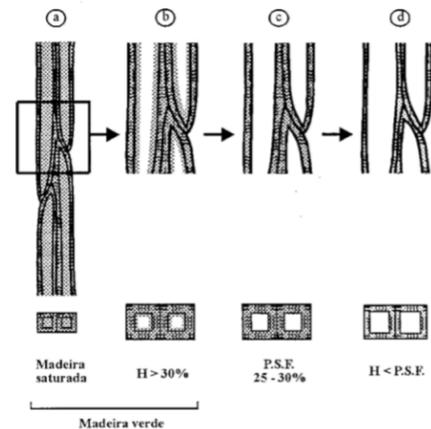


Figura 3.12 | Fases de secagem da madeira (Coutinho, 1999).

Com base nestas variações do teor de água, a madeira pode ser classificada em quatro categorias: madeira comercialmente seca com teor de água inferior a 20%; madeira seca ao ar, com valores de teor de água entre os 14 e 18%; madeira dessecada com valores de teor de água que varia entre os 0 e 14%, normalmente atingidos com secagem artificial; madeira anidra que apresenta 0% de humidade (Cruz & Nunes, s.d.).

Para proceder ao cálculo do teor de água de equilíbrio na madeira é utilizada a seguinte expressão:

$$H(\%) = \frac{\text{peso humido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100 \quad (\text{III.4.1})$$

Sendo a madeira um material higroscópico, e devido à constante variação de adsorção e desadsorção de água, o seu equilíbrio higroscópico apenas é observado quando estes dois fenómenos registam a mesma taxa de variação e é só neste ponto que a madeira possui equilíbrio de água perante as condições ambientais.

Desta forma, como se pode verificar na figura 3.7, existe uma relação entre o teor de humidade da madeira e a humidade relativa do ar conforme o local onde a peça é aplicada (Cruz & Nunes, s.d.).

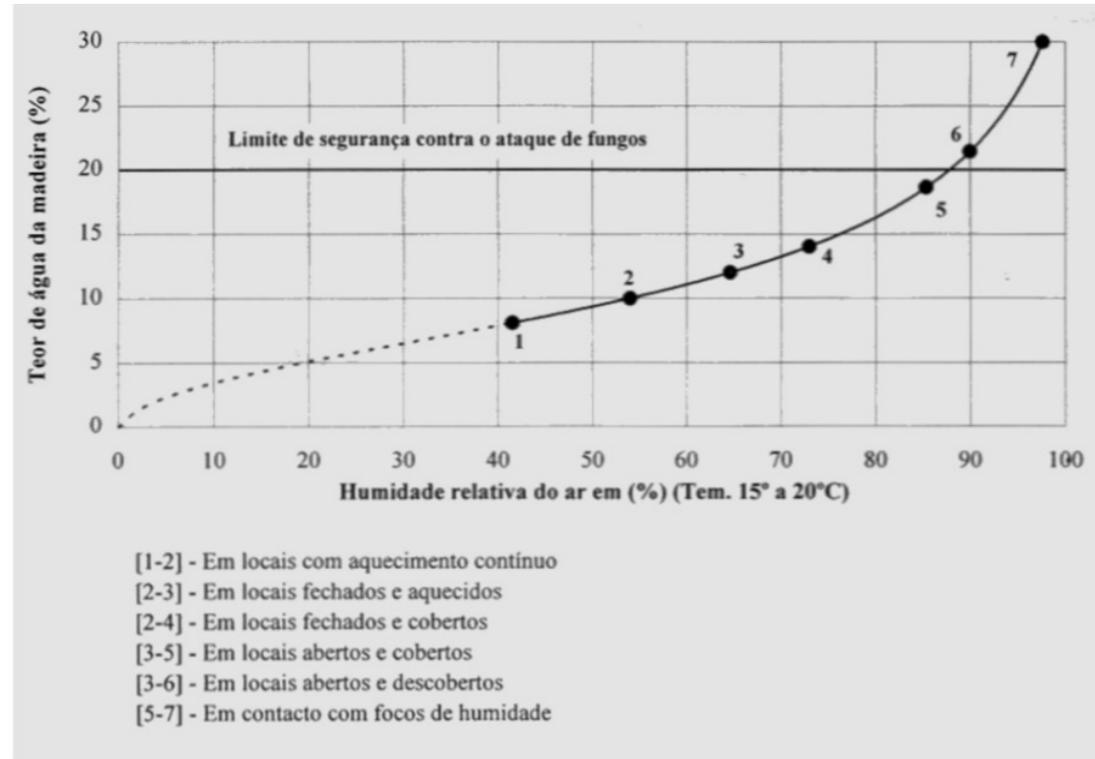


Figura 3.13 | Gama de variação esperada para o teor de água de equilíbrio da madeira (Coutinho, 1999).

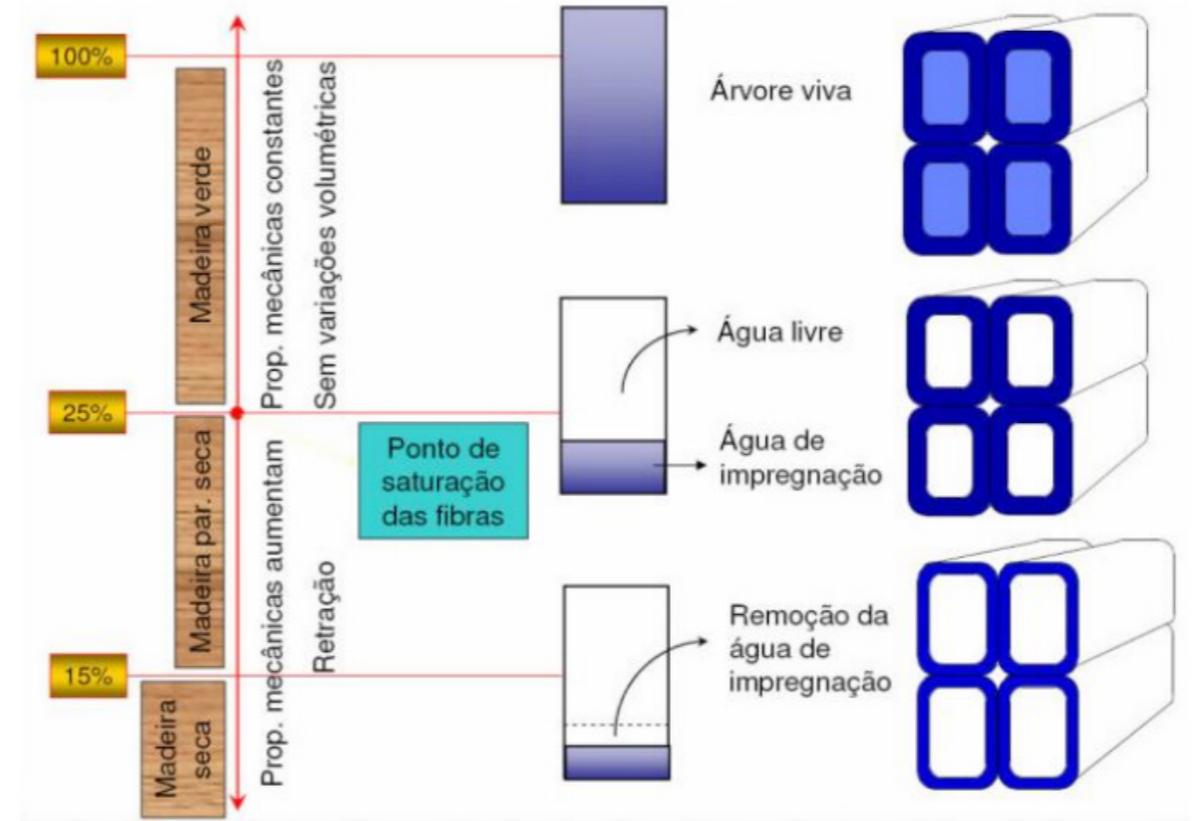


Figura 3.14 | Teor de água na madeira (Simonson, et al., 2001).

Como já referido no capítulo anterior existem materiais que têm a capacidade higroscópica e neste caso a madeira é um desses materiais.

A higroscopicidade como já foi referido surge da relação dos fatores de temperatura e humidade relativa do ar, porém na análise mais concreta da madeira existem outros fatores tais como a espécie de madeira, a sua massa volúmica entre outros fatores da madeira que fazem variar a quantidade de humidade que a madeira vai absorver (Machado, 2006).

Com base em dados utilizados por Simpson (1973) para o cálculo da humidade de equilíbrio temos a seguinte expressão:

$$H_{equi} = \frac{180}{M_p} \left( \frac{Kh}{-1Kh} + \frac{K_1Kh + 2K_2K^2h^2}{1 + K_1Kh + K_1K_2K^2h^2} \right) \quad (III.4.2)$$

sendo que:

$H_{equi}$ : teor de humidade de equilíbrio;

$M_p, K, K_1$  e  $K_2$ : são constantes na qual:

$$M_p: 349 + 1.292t + 0.0134t^2$$

$$K: 0.805 + 0.000736t - 0.00000273t^2$$

$$K^1: 6.27 - 0.00938t - 0.000303t^2$$

$$K^2: 1.91 + 0.0407t - 0.000293t^2$$

$T$ : tempo;

$h$ : humidade.

Com base neste modelo na figura 3.15 um gráfico que mostra esse comportamento do teor de humidade a diferentes temperaturas.

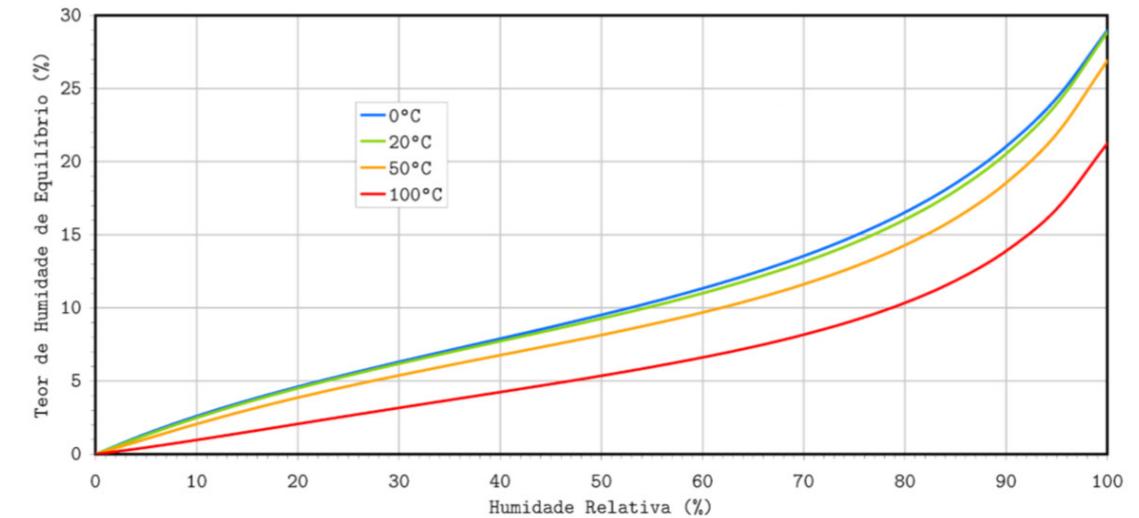


Figura 3.15 | Curvas higroscópicas da madeira a diferentes temperaturas (Machado, 2006, p. 32).

Embora a madeira seja um material heterogéneo e anisotrópico existem formas de transformação destas características que fazem com que o material tenha um comportamento mais homogéneo e isotrópico e que conseqüentemente altere as suas características higroscópicas (Martins, 2010).

O teor de humidade que a madeira possui altera as suas propriedades físicas e mecânicas. Esse teor de humidade pode ser expressa através de uma percentagem que pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$H(\%) = \frac{\text{peso humido} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \cdot 100 \quad (\text{III.4.3})$$

Essas transformações passam pela criação de materiais com base na madeira, passando por exemplo pelo processo de laminagem que consiste em cortar a madeira em lamelas que depois são coladas através de um processo de junção de lamelas de madeira. O processo de laminagem é caracterizado por ser mais resistente do que a madeira maciça, com maior segurança a nível estrutural pelos seus defeitos de nós encontrarem-se distribuídos (Martins, 2010).

Podemos encontrar vários exemplos de derivados da madeira, tais como as placas de madeira maciça, contraplacado, placa micro lamelada colada, aglomerados de partículas de madeira, aglomerado de madeira-cimento, placas de aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB) e aglomerado de fibras que podem ser placas obtidas por via húmida ou placas obtidas por via seca (MDF).

As placas de derivados de madeira caracterizam-se por terem vantagens em obter-se placas de diferentes geometrias, independentemente das suas dimensões e forma do tronco; pela sua maior resistência na superfície da placa; pela sua boa relação entre resistência e peso; pela sua maior estabilidade dimensional e por serem produtos homogéneos.

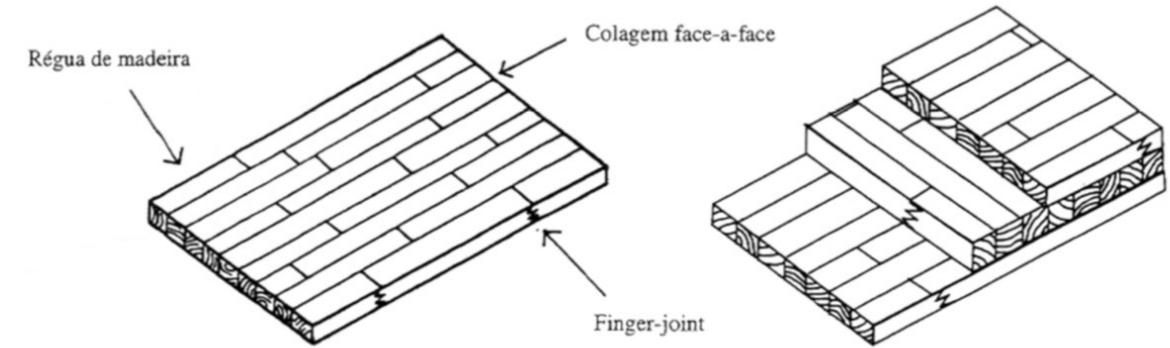


Figura 3.16 | Placa de madeira maciça unicamada (Martins, 2010)

Placa de madeira maciça multicamada (Martins, 2010)



Figura 3.17 | Placas de Contraplacado (Martins, 2010)



Figura 3.18 | Placas OSB (Martins, 2010)



Figura 3.19 | Placa micro lamelada colada (Martins, 2010)



Figura 3.20 | Aglomerados de partículas de madeira (Martins, 2010)



Figura 3.21 | Placas de madeira-cimento (Martins, 2010)



Figura 3.22 | Aglomerado de fibras (MDF) (Martins, 2010)

Estes diferentes derivados de madeira têm diferentes finalidades e características, sendo importante analisar algumas dessas. As placas de madeira maciça caracterizam-se por ter uma composição em unicamada ou em multicamada como se pode observar na figura 3.16 e as suas camadas exteriores podem ser de placas resinosas ou folhosas; as placas de contraplacado resultam da colagem de várias folhas de madeira, com fios cruzados folha a folha, proporcionando uma maior estabilidade dimensional, uma maior resistência mecânica na direção perpendicular às fibras da camada exterior, uma menor anisotropia quando comparado a madeira maciça e uma maior resistência à fissuração; as placas de OSB são um aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas que permitem uma melhoria na resistência mecânica da peça; as placas micro lameladas coladas têm uma estrutura semelhante a do contraplacado; as placas de aglomerado de partículas de madeira são partículas de madeira aderidas por resina sintética sob pressão e calor, na qual tem isotropia no plano da placa e possui uma expansão na direção da espessura da placa que se deve ter em conta; as placas de madeira-cimento têm bom comportamento ao fogo e uma boa durabilidade biológica devido ao seu pH elevado; por último as placas de aglomerados de fibras de madeira que possuem dois tipos: os que são obtidos por via húmida, que são constituídos por um colchão de fibras húmidas e aditivos depois prensados a frio, resultando deste um aglomerado de fibras brando; e os que são obtidos por via seca que possuem colchão de fibras secas, resina e aditivos e depois prensados a quente, resultando deste um aglomerado de fibras semi-duro, um aglomerado de fibras duro e o MDF. Estes diferentes aglomerados de fibras possuem por sua vez diferentes valores de massa volúmica que deve ser considerado (Machado J.S. 2005).

Na tabela 3.1. pode-se observar diferentes valores aproximados de teor de água para os diferentes tipos de placas de aglomerados que foram analisados anteriormente, para três ambientes a uma temperatura do ar de 20°C.

Tabela 3.1 | Teores em água de equilíbrio aproximados para os diferentes tipos de placas, para três ambientes a 20°C de temperatura do ar (Machado J.S. 2005).

Humidade relativa do ar (%)	Teor de água de equilíbrio aproximado*					
	Agl. de partículas	Agl. de fibras	OSB	Contraplacado	Agl. madeira-cimento	Madeira de resina
30	7	5	5	5	5	6
65	11	8	10	10	10	12
85	15	12	15	15	14	17

\*valores dependentes da resistência à humidade dos diversos tipos de placas.

Através da tabela apresentada 3.1 pode-se observar a influência da humidade relativa do ar na variação do teor de água nos derivados de madeira e as variações de valores que existem entre os mesmos. Analisando os valores com base nas três variações de humidade de um modo geral obtém-se em todos os derivados valores de teor de humidade maior de acordo com a maior percentagem de humidade e de uma forma mais detalhada os aglomerados de partículas e a madeira de resina são os que possuem maior percentagem de teor de humidade de equilíbrio.

Como já foi referido existem variações entre os derivados existindo desta forma diferentes tipos de uso para cada um deles, tal como se pode observar na tabela 3.2. Com base nesta tabela consegue-se obter os melhores derivados de acordo com a sua finalidade. Sendo que para este estudo interessa analisar o comportamento do material em espaços interiores temos os aglomerados de fibras, como o material mais utilizado em revestimentos interiores e para revestimento de pisos (piso flutuante), os aglomerados de partículas de madeira para revestimento de pisos e para forro de cobertura, o contraplacado e a placa de micro-lamelada colada para paredes divisórias e o OSB para revestimento de pisos, forro de cobertura e para paredes divisórias.

Com base na análise das tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 sobre os derivados de madeira, a sua utilização mais frequente e as suas variações dimensionais a uma variação de humidade de 1%, pode observar-se que os aglomerados de partículas, o OSB e o contraplacado são os que têm maior capacidade de absorção de água e menor variações dimensionais face a uma variação de humidade de 1%. Desta forma estes os nomeados para a criação do sistema, sendo mais concretamente o aglomerado de partículas.

Tabela 3.2 | Utilização mais frequente (Machado J.S. 2005).

Tipo de uso	Utilização mais frequente					
	SWP*	PW/LVL*	P*	CBPB*	OSB*	Aglomerado de fibras*
Cofragens	X	X				
Almas Vigas I	X	X				
Revestimento Exterior		X		X		
Revestimento Interior						X
Revestimento Pisos			X		X	X (piso flutuante)
Pisos técnicos			X			
Forro Cobertura			X		X	
Divisórias		X			X	
Portas	X					
Componente caixilharia						X

\*SWP – Placas de madeira maciça; PW – Contraplacado; LVL – Placa micro lamelada colada; P – Aglomerados de partículas de madeira; CBPB – Aglomerados de madeira-cimento; OSB – Placas de aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas; Aglomerado de fibras – exemplo MDF.

Tabela 3.3 | Variações dimensionais estimadas para diversos tipos de placas de derivados de madeira face à variação de 1% do seu teor de água (Machado J.S. 2005).

Tipo de placa	Variações dimensionais face à variação de 1% do teor de água		
	Comprimento (%)	Largura (%)	Espessura (%)
<b>Agl. de partículas</b>	0.05	0.05	0.7
	0.03	0.04	0.5
<b>Agl. de fibras</b>	0.03	0.03	0.5
	0.04	0.04	0.7
	0.05	0.05	0.7
<b>OSB</b>	0.03	0.04	0.7
	0.02	0.03	0.5
	0.02	0.03	0.5
<b>Contraplacado</b>	0.015	0.015	0.2
	0.025	0.025	0.3
<b>Agl. de madeira-cimento</b>	0.05	0.05	0.04
<b>Pinho Bravo</b>	0.03	0.36	0.21

\*Os valores indicados podem ser afetados por parâmetros de produção, podendo nas situações mais exigentes o utilizador requerer e utilizar os valores a fornecer pelo fabricante.

**IV.**

**SISTEMA HIGROSCÓPICO**

## IV.1. Projeto

O sistema higroscópico em aglomerado de partículas de madeira tem como ponto de partida uma peça maciça com um dimensionamento de 50×25×1,9 cm que terá orifícios de modo a aumentar a área de absorção da humidade da peça.

Para o seu desenvolvimento, é necessário calcular-se a relação entre a área da superfície e o volume de absorção da humidade. O número de orifícios a considerar facilmente analisado em função desta relação área/volume.

Foram considerados, no âmbito deste trabalho, orifícios circulares e quadrangulares.

De acordo com o dimensionamento da peça, o mínimo de orifícios circulares foi testado com diâmetros de 1, 2 e 4 cm, obtendo-se desta forma diferentes valores de área da superfície, do volume e por sua vez da relação A/V. Um dos objetivos do trabalho é o de avaliar a influência desta relação na capacidade de absorção de humidade da peça.

A tabela 4.1 apresenta os dados da peça maciça e na tabela 4.2 podem observar-se os primeiros cálculos realizados com o objetivo de determinar o número de orifícios circulares que poderia ser executado em cada provete de ensaio em função do seu diâmetro, sendo que o valor da área inclui a área interior dos orifícios. A tabela indica ainda a superfície e volume de absorção resultantes.

Tabela 4.1 | Dados principais da peça maciça de aglomerado de partículas de madeira.

<b>L – comprimento (cm)</b>	50
<b>H – largura (cm)</b>	25
<b>E – espessura (cm)</b>	1,9
<b>V – volume (cm<sup>3</sup>)</b>	2375
<b>A – área (cm<sup>2</sup>)</b>	1250
<b>A/V (cm<sup>-1</sup>)</b>	0,5

Tabela 4.2 | Testes feitos com diferentes números de orifícios circulares.

Nº círculos iguais	16			32		
	Diâmetro círculos	1	2	4	1	2
<b>Área</b>	2351,1	2279,5	1993,2	2327,3	2184,1	1611,4
<b>Volume</b>	1332,9	1390,7	1430,9	1415,8	1531,3	1611,7
<b>A/V</b>	0,57	0,61	0,72	0,61	0,70	1,00

Nº círculos iguais	64			128		
	Diâmetro círculos	1	2	4	1	2
<b>Área</b>	2279,5	1993,2	847,7	2184,1	4240,4	-679,6
<b>Volume</b>	1581,6	1812,7	1973,5	1913,2	4867,3	2696,9
<b>A/V</b>	0,69	0,91	2,33	0,88	1,47	-3,97

Com base nestes primeiros valores, foram realizados novos cálculos para determinação do número de círculos em função da dimensão em L e em H da peça dispostos de forma linear, e em função do critério de maquinação que corresponde ao espaço entre círculos (tabela 4.3).

Esses mesmos parâmetros são estabelecidos para outra situação mais simples que é a forma quadrada e em seguida é estabelecida uma comparação entre os mesmos.

Tabela 4.3 | Parâmetros de cálculo do número de círculos dispostos na peça de madeira.

Critério maquinação (cm)	1			0,5		
	1	2	4	1	2	4
Diâmetro (cm)	1	2	4	1	2	4
Nº círculos em L	24	16	9	33	19	11
Nº círculos em h	12	8	4	16	9	5
	288	128	36	528	171	55
Critério maquinação revisto em L (cm)	1,04	1,06	1,40	0,50	0,60	0,50
Critério maquinação em H (cm)	1,00	1,00	1,80	0,53	0,70	0,83

Tabela 4.4 | Comparação de valores obtidos com orifícios circulares e quadrados, com critério de maquinação de 1cm.

	Nº círculos iguais				Nº quadrados iguais		
	288	128	36		288	128	36
Diâmetro	1	2	4	<b>Lado</b>	1	2	4
V	1945,4	1611,4	1515,9	<b>V</b>	1827,4	1402,2	1280,6
A	2742,1	2375,4	1656,9	<b>A</b>	3150,8	2683,6	1768,4
A/V	1,41	1,47	1,09	<b>A/V</b>	1,72	1,91	1,38

Tabela 4.5 | Comparação de valores obtidos com orifícios circulares e quadrados, com critério de maquinação de 0,5 cm.

	Nº círculos iguais				Nº quadrados iguais		
	528	171	55		528	171	55
Diâmetro	1	2	4	<b>Lado</b>	1	2	4
V	1587,5	1354,8	1062,5	<b>V</b>	1371,8	1075,4	703,0
A	3985,6	2753,4	1871,7	<b>A</b>	4734,8	3165,2	2042,0
A/V	2,51	2,03	1,76	<b>A/V</b>	3,45	2,94	2,90

Pode observar-se, nas tabelas 4.4 e 4.5, que os orifícios circulares possuem valores de volume superiores aos quadrangulares enquanto que os seus valores de área são inferiores. Nesta fase, e com base na relação entre A/V, admite-se que, para cada dimensão de orifício, ter-se-á uma maior absorção com orifícios quadrangulares ao invés dos circulares.

## IV.2. Fabricação

De acordo com os parâmetros de cálculo foram fabricados 12 provetes de aglomerado de partículas de madeira com os seus diferentes critérios.

Deste modo, e para facilitar futuras análises, é atribuída para cada um dos provetes uma designação de acordo com a forma do seu orifício, critério de maquinação e diâmetro do orifício, tal como indicado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 | Designação dos provetes de acordo com forma do orifício, o seu critério de maquinação e o diâmetro do orifício.

Provetes quadrangulares		
Critério de maquinação	Lado	Provete
0.5 cm	1	Q01
	2	Q02
	4	Q04
1	1	Q11
	2	Q12
	4	Q14

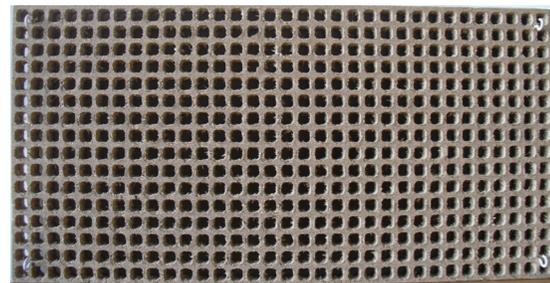
  

Provetes circulares		
Critério de maquinação	Diâmetro	Provete
0.5 cm	1	C01
	2	C02
	4	C04
1	1	C11
	2	C12
	4	C14

Tabela 4.7 | Ordenação dos provetes de acordo com as suas relações de área/volume.

Provete	A/V	[%] A/V	Varição entre provetes [%]	Critério maior variação entre provetes [%]
Q01	3,5	100	15	15
Q02	2,9	85	1	13
Q04	2,9	84	11	
C01	2,5	73	14	14
C02	2,0	59	3	16
Q12	1,9	55	4	
C04	1,8	51	1	
Q11	1,7	50	7	
C12	1,5	43	2	11
C11	1,4	41	1	
Q14	1,4	40	8	
C14	1,1	32		

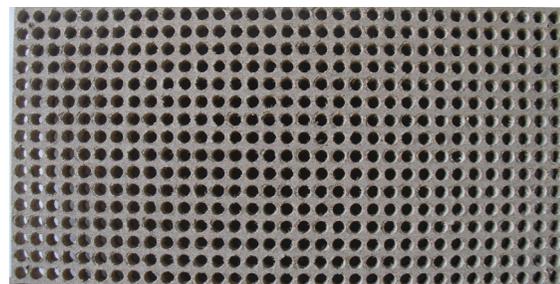
Para uma primeira fase deste estudo, são seleccionados 6 dos provetes fabricados para serem sujeitos a experimentação. Para tal foi elaborada uma tabela com os dados das relações A/V e criado um critério de maior variação entre provetes. Com base nesses dados são escolhidos 6 provetes com a maior diferença de percentagem de relação A/V conforme a tabela 4.7.



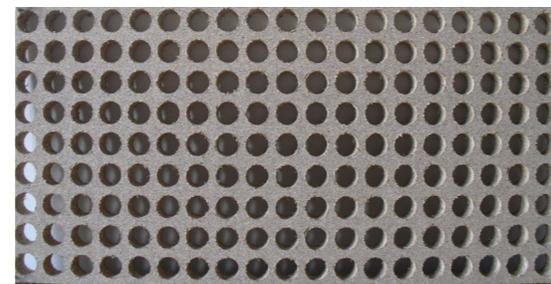
Q01



Q02



C01



C02

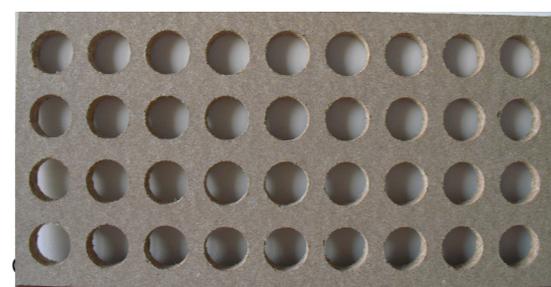
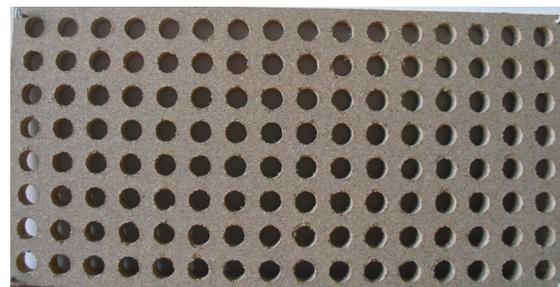


Figura 4.1 | Provetes ensaiados.

### IV.3. Avaliação Experimental

Este subcapítulo descreve o modo como foram realizados os ensaios de adsorção de humidade nos seis provetes, incluindo os dispositivos que compõem o sistema de ensaio e o procedimento adotado.

#### IV.3. 1. Introdução ao sistema de ensaio

Para a análise do comportamento dos diferentes provetes de derivado de madeira, é fundamental um sistema que permita uma validação em forma numérica dos diferentes comportamentos higrotérmicos, nos diferentes compartimentos.

Com base nas análises feitas de outros trabalhos é clara a existência de uma série de abordagens feitas sobre o efeito da inércia higroscópica nos materiais. Existem vários tipos de câmaras de ensaio, que diferem nas suas dimensões e nos seus parâmetros de análise.

No âmbito desta dissertação, optou-se pelo desenvolvimento do próprio sistema, para realização dos ensaios de forma sucessiva e vigiada, com possibilidade de repetições ilimitadas.

### IV.3. 2. Descrição do sistema de ensaio – conceito do sistema

O sistema de ensaio tem como ponto de partida a criação de dois ambientes em que são colocados os provetes, que consiste num processo de adsorção (contendo água na base) e outro num processo de evaporação (sem água na base). Como método comparativo a estes ambientes é necessário a criação de outros dois ambientes iguais aos anteriores mas nos quais não são colocados os provetes, para desta forma compreender-se a influência do material nos ambientes sempre em comparação com o que seria um ambiente normal sem a madeira. Para isto é fundamental o controlo da temperatura e da humidade relativa.

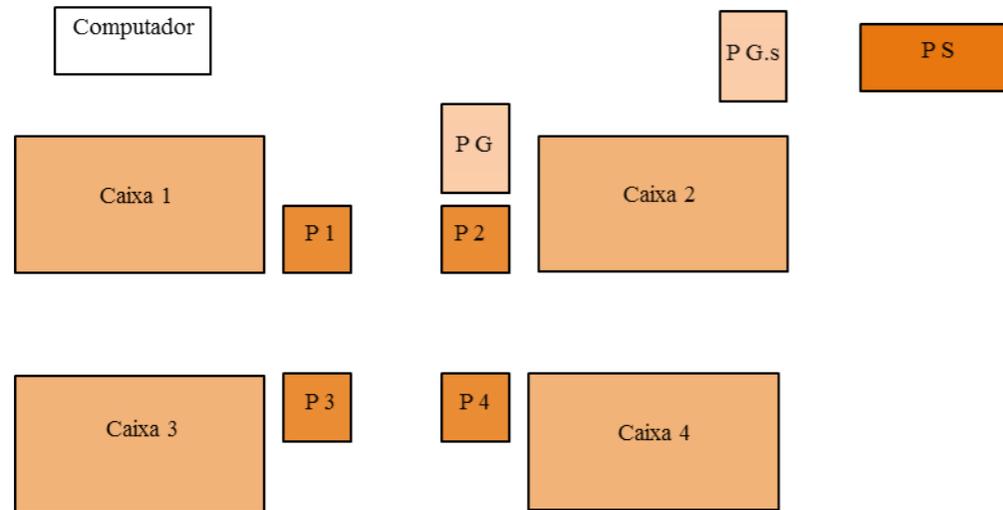


Figura 4.2 | Esquema simplificado do sistema de ensaio, em que P1, P2, P3 e P4 correspondem às placas de aquisição de dados onde estão ligados os os sensores de temperatura e de humidade das diferentes caixas, PG é a placa multifunções USB 6008 para aquisição de dados, PS é a placa da sala e PG.s é a placa geral da sala.

O sistema de ensaio elaborado é composto e desenvolvido com recurso ao mínimo de meios. Este processo pode ser descrito por:

- o sistema de ensaio tem como elemento base quatro caixas de plástico com 60×40×40 cm que seguem a base das medidas dos provetes;
- as laterais dos provetes são seladas com fita para que seja apenas a face do provete mais a superfície dos orifícios maquinados a absorver humidade, podendo comparar os efeitos dos diferentes orifícios;
- os provetes são colocados no interior das caixas através de fios que atravessam a tampa e prendem na extremidade do provete permitindo que esse fique suspenso;
- a colocação dos provetes é feita de forma central e horizontal;
- os ambientes húmidos são feitos através da evaporação de água que é colocada na base da caixa;
- as quatro caixas são fechadas e isoladas de forma a evitar variações no seu interior devido às transformações existentes do ambiente interior da própria sala;
- a temperatura e a humidade são medidas em simultâneo no interior das quatro caixas e no interior da sala;
- o sistema partilha informação com um computador, no qual um programa específico recolhe os dados provenientes dos sensores e os transpõe para valores numéricos numa folha de cálculo;

- os valores resultantes do comportamento dos testes são adquiridos de segundo em segundo, sendo que ao longo de 24h o programa, por questão de segurança, faz um ficheiro excel com os dados correspondentes a essas horas;

- cada ficheiro excel contém todos os valores respectivos aos cinco sensores de humidade e de temperatura, com a sua respectiva data.



Figura 4.3 | Sistema de ensaio.

### IV.3. 3. Descrição geral do ensaio

Para a análise do comportamento dos diferentes provetes é fundamental um sistema que permita uma validação de forma numérica do comportamento higroscópico nos diferentes ambientes simulados. Desta forma, foi criado um programa de medição da humidade e da temperatura.

O sistema é composto por cinco sensores de temperatura e cinco sensores de humidade relativa em que quatro pares fazem a medição no interior das caixas e o outro faz a medição do espaço interior da sala onde se desenvolve o estudo.

Cada caixa tem uma placa de ligação onde se conectam os sensores de temperatura e de humidade relativa que entram nas caixas. Essa placa onde estão ligados os sensores contém um módulo de amplificação para os sensores de temperatura baseado em LM324 com um amplificador não inversor com ganho 11. Este módulo serve para converter a potência elétrica que recebe do sensor de temperatura para bits, o que dará os dados no programa no computador. Para a colocação dos sensores no interior das caixas foram feitos pequenos orifícios na tampa das caixas que têm que ser isolados com fita no desenvolvimento de cada ensaio, impedindo o contacto com o ambiente da sala.

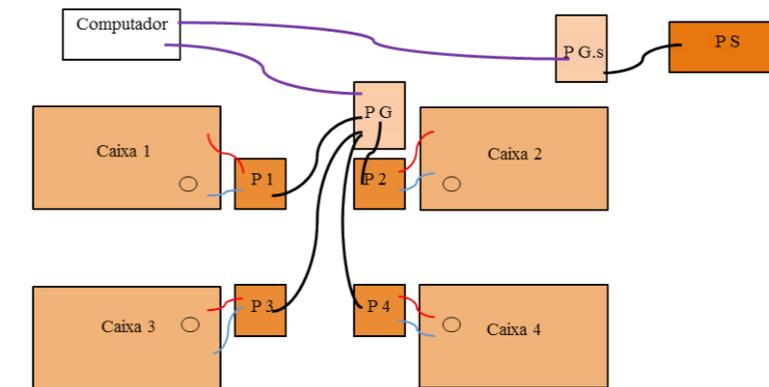


Figura 4.4 | Esquema dos sistema de ensaio e ligações entre sensores e caixas em que: vermelho é o sensor de temperatura, o azul é o sensor de humidade, preto é a ligação dos sensores das caixas com a placa multifunções USB6008 para aquisição de dados e o roxo corresponde a ligação dessa placa com o computador .

Tabela 4.8 | Descrição dos ambientes e sensores de cada caixa.

Caixas	Ambientes	Sensores	
		Humidade	Temperatura
<b>Caixa 1</b>	Caixa seca sem amostra	H <sub>r</sub> blk	T <sub>r</sub> blk
<b>Caixa 2</b>	Caixa húmida sem amostra	H <sub>r</sub> blk W	T <sub>r</sub> blk W
<b>Caixa 3</b>	Caixa seca com amostra	H <sub>r</sub> smpl	T <sub>r</sub> smpl
<b>Caixa 4</b>	Caixa húmida com amostra	H <sub>r</sub> smpl W	T <sub>r</sub> smpl W
<b>Sala</b>	Ambiente interior da sala	H <sub>r</sub> room	T <sub>r</sub> room

Este sistema criado tem como objetivo testar o provete de forma a que este adsorva a água, esperando-se ter como consequência uma redução da HR dentro da caixa. Por comparação entre o valor da caixa com o provete e o calor da caixa de controlo, pode aferir-se a capacidade de absorção do provete.

Assim sendo os ensaios iniciam-se com as caixas todas abertas com valores semelhantes de humidade e temperatura aos do ambiente da sala. É ligado o programa no computador para verificar as condições de todos os ambientes e em seguida é colocado o provete na caixa 4, sendo esta caixa fechada ao mesmo tempo que a caixa 2, colocando-se os sensores de temperatura e humidade ao mesmo tempo nas duas caixas. Após este processo segue-se o mesmo processo para as caixas 1 e 3 seguindo-se o processo de isolamento de todos os orifícios das tampas.

Este processo permite comprovar que o provete de fato absorve a humidade quando este é colocado na caixa seca e esperando algum tempo a HR aumenta como consequência da evaporação da humidade que o provete absorveu anteriormente. Comparando os valores nas duas caixas secas, pode validar-se a ocorrência da evaporação e, deste modo, comprovar-se que o provete tinha de fato adsorvido vapor de água.

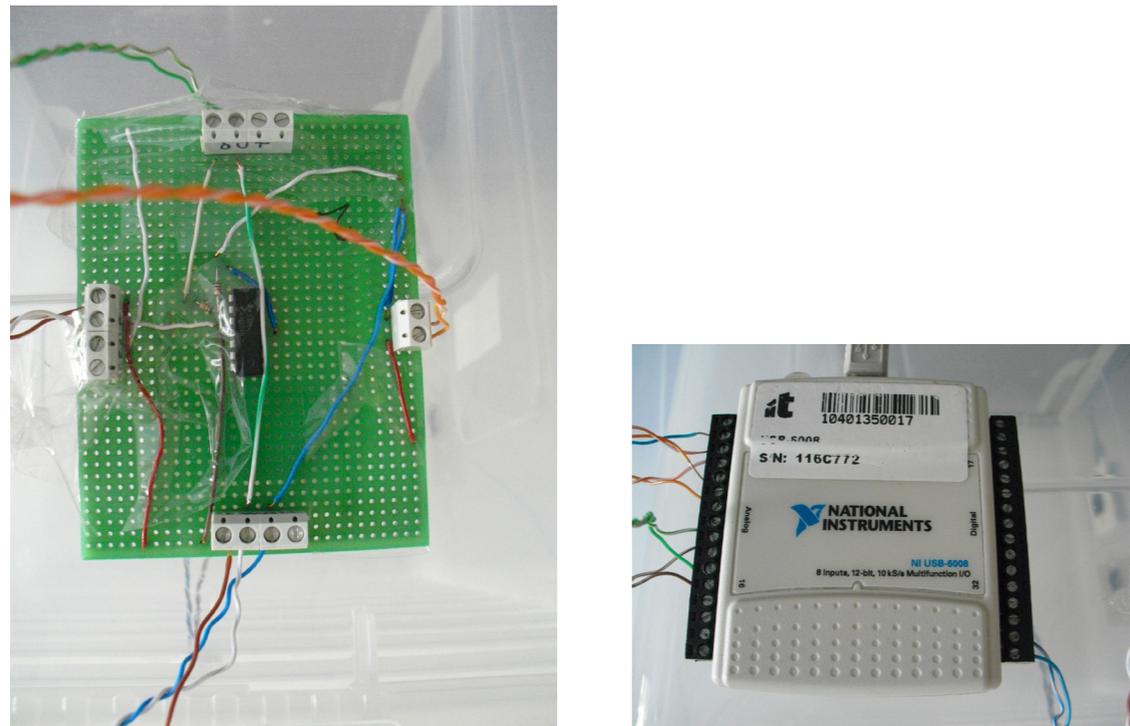


Figura 4.5 | Imagem da placa de ligação colocada em cada caixa onde se encontram conectados os sensores de medição da humidade e temperatura (esquerda) e suas saídas de dados para a placa multifunções USB6008 para aquisição de dados (direita).

O tempo de duração dos ensaios depende do tempo de estabilização da peça ao adsorver a humidade. Quando houver uma estabilização na variação dos valores de humidade relativa pode-se parar o ensaio.

Finalizado o ensaio do provete na caixa humidade os sensores são todos retirados das caixas e o provete retirado da caixa passando para a caixa seca quando esta estiver com o mesmo ambiente da sala. Quando a caixa seca onde será colocado o mesmo provete estiver com os valores de humidade e temperatura iguais ao ambiente da sala segue-se o mesmo processo que foi feito na caixa húmida, deixando a peça libertar a sua humidade. O ensaio é terminado também quando os valores de variação de humidade e temperatura estiverem estabilizados.

Após uma primeira experiência admitiu-se um tempo de duração de 48h do provete na caixa húmida e 24h na caixa seca.



Figura 4.6 | Ligações entre as 4 caixas. Placas dos sensores fixados nas laterais das caixas de forma mais ou menos equidistante.



Figura 4.7 | Provete em ensaio na caixa 4. Suspensão do provete e sensores no interior da caixa a atravessar os orifícios do provete.



Figura 4.8 | Provete em ensaio na caixa 4. Trave em madeira para suspensão do provete e abertura na tampa da caixa para entrada dos sensores.

Tabela 4.9 | Períodos de ensaio.

Provetes	Período de ensaio		
	Caixa húmida	Caixa seca	
	Início	Início	Fim
C01	10-07-14	14-07-14	15-07-14
	13h49	14h15	14h20
C14	15-07-14	17-07-14	18-07-14
	17h05	11h27	12h10
Q01	18-07-14	21-07-14	22-07-14
	12h35	11h40	
Q02	22-07-14	24-07-14	25-07-14
	13h25	13h15	12h45
C12	25-07-14	28-07-14	29-07-14
	16h05	11h35	09h45
C02	18-08-14	20-08-14	21-08-14
	15h30	15h55	14h58

## **IV.4. Análise de Resultados**

Os dados transferidos para o computador, transformados em formato numérico, permitem a execução de uma análise gráfica para compreensão do comportamento dos provetes nos dois ambientes diferentes. Os valores constantes das folhas de cálculo elaboradas automaticamente para cada caixa e para a sala pelo programa de recolha de dados são transpostos para um ficheiro único de análise. Este ficheiro foi idealizado de forma a que, inserindo por cópia simples os dados provenientes das medições, se obtenha automaticamente um conjunto de dados e representações gráficas.

### **IV.4.1. Processo de correção de dados**

Nos ficheiros obtidos verificaram-se ligeiras discrepâncias de valores, pelo que tiveram de ser realizadas algumas correções de dados para assim poderem ser comparáveis.

A primeira correção feita foi nos valores de medições obtidos pelos sensores, que colocados no mesmo ambiente mediam valores ligeiramente diferentes. Desta forma foram feitos testes de calibração onde detetou-se que as discrepâncias não são sempre iguais e com base nisto não pode ser feita uma correção constante.

Idealmente a correção seria feita no decorrer do ensaio, porém como o ensaio começa na caixa húmida, em que uma contém o provete enquanto a outra está vazia, os valores não poderiam ser comparáveis, pelo que seria necessário igualar condições.

Desta forma, as condições encontram-se igualáveis quando existe a troca do provete da caixa húmida para a caixa seca. Neste momento as duas caixas húmidas encontram-se sem provete, sendo assim possível encontrar a diferença dos valores dos sensores das caixas húmidas. Sendo feito o fator de correção e estando as caixas em momentos comparáveis é determinada a média.

A segunda correção feita foi nos valores superiores a 100% nos sensores das caixas húmidas, tal como pode-se observar na seguinte equação:

$$HR_{c2} = HR_{c1} - \frac{HR_{c1} - HR_{min}}{HR_{máx} - HR_{min}} \times (HR_{máx} - 100) \quad (IV.4.1)$$

$HR_{c2}$ : Humidade relativa corrigida para ajuste dos valores superiores a 100%;

$HR_{c1}$ : Humidade relativa corrigida para ajuste dos valores das células comparadas;

$HR_{min}$ : Valor mínimo da humidade relativa registado durante o ensaio;

$HR_{máx}$ : Valor máximo da humidade relativa registado durante o ensaio.

Com a análise dos dados adquiridos pelas medições dos sensores detetou-se que haviam vários valores de medições com valores de HR superior a 100%, o que não seria correto, tendo sido aplicado uma função de correção.

Este tipo de erro ocorre devido à sensibilidade do sensor, que aumenta com o aumento da humidade. Desta forma é visível que o erro torna-se maior à medida que os valores de humidade sobem, não sendo possível admitir-se uma correção igual em todos os parâmetros.

Nesta situação aplicou-se uma função de correção proporcional de forma a manter o valor mínimo da série de medições e passar para 100% os valores máximos.

Os valores dos ensaios medidos pelos sensores de humidade correspondem a humidade relativa. A partir destes dados e do conhecimento dos valores de temperatura, foram calculados os valores de humidade absoluta. Esta alteração deve-se ao fato de a humidade relativa corresponder a uma variação que depende por sua vez da temperatura, e no caso em concreto deste estudo interessa analisar é a capacidade de absorção de humidade do material independentemente da temperatura. Desta forma o ideal é a utilização da humidade absoluta onde é descontado as variações de temperatura.

Os ensaios que se seguem contém gráficos e tabelas em que os valores apresentados são de humidade absoluta em Pascal (Pa).

## IV.4.2. Análise do provete C01

Os testes foram iniciados com o provete C01, com um valor intermédio da relação área/volume, tal como foi descrito na tabela 1.6 deste mesmo capítulo.

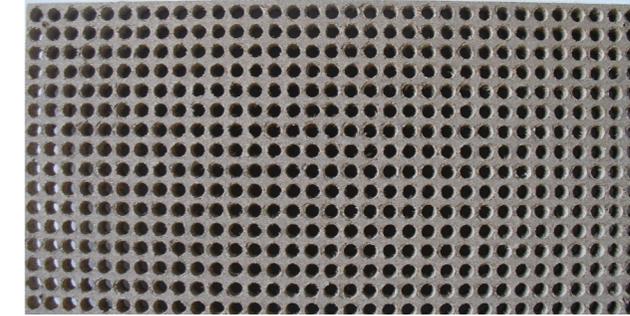


Figura 4.9 | Provete C01.

O gráfico da figura 4.10 mostra a variação da humidade absoluta nos cinco ambientes.

A curva Ha-smplW, apresentada a cor de laranja corresponde à caixa 4 com água onde é colocado o provete. Analisando a curva, obtém-se logo de início uma grande subida da humidade absoluta que corresponde ao momento em que a caixa é fechada.

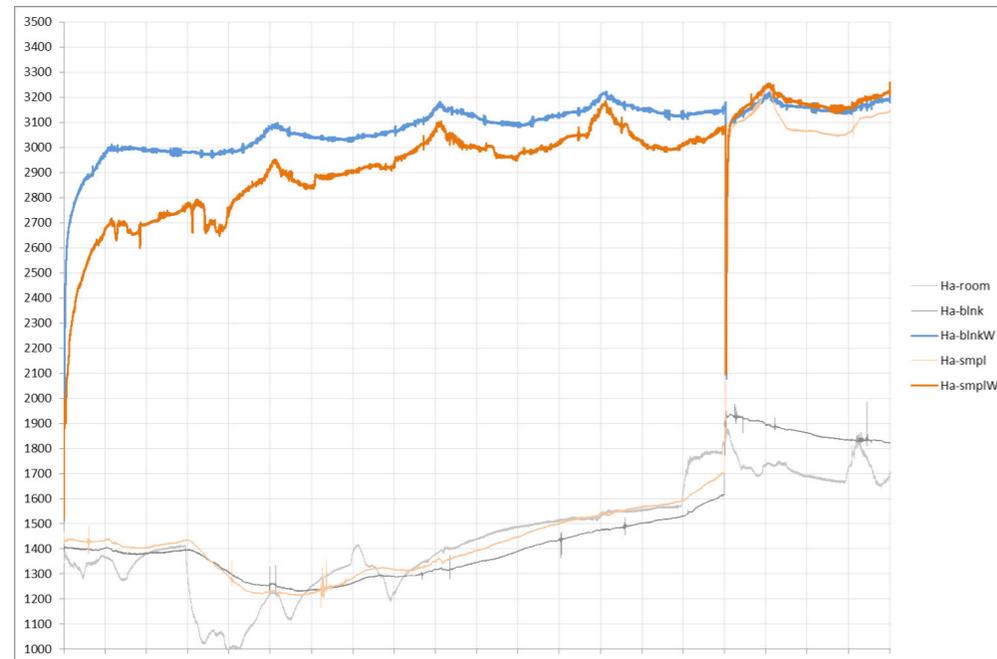


Figura 4.10 | Gráfico humidade absoluta do provete C01.

No início do ensaio a caixa 4 tem uma  $H_a$  de 1525 Pa subindo para 2906 ao fim de 6h. O mesmo é visível na caixa 3 embora com valores mais elevados, que variam de 1519 no início a 3387 Pa. A  $H_{a-smplW}$  encontra-se com valores de humidade absoluta sempre abaixo da  $H_{a-blncW}$  devido à influência do provete que foi colocado na caixa 4. Este efeito mostra a capacidade do material em adsorver a humidade existente no ambiente.

A  $H_{a-smpl}$  é mais ou menos constante havendo um momento de grande subida passado as 102h do ensaio que corresponde à troca do provete C01 da caixa 4 para a caixa 2. Neste momento pode-se observar a capacidade de libertação da humidade que o material adsorveu.

Desta forma e observando o mesmo gráfico mas a partir das 102h de análise temos as curvas correspondentes às 24h de ensaio na caixa 2. Para além da subida de  $H_{a-smpl}$ , existe uma grande semelhança dos valores de  $H_{a-smplW}$  e de  $H_{a-blncW}$ . O gráfico apresentado na figura 4.11 adapta as curvas de diferenciação da influência do provete na caixa húmida e na caixa seca em comparação com as respectivas caixas sem os provetes.

Desta forma o gráfico representa a seguinte equação:

$$\Delta \text{ dry} = \frac{H_{a-smpl}}{H_{a-blnc}} \times 100\%$$

$$\Delta \text{ moist} = \frac{H_{a-smplW}}{H_{a-blncW}} \times 100\% \quad (\text{IV.4.2})$$

Existe uma subida da curva para uma quantidade de humidade com valores entre os 160% e os 170%, no momento em que o provete sai da caixa húmida e é colocado na caixa seca. Observando a curva das caixas húmidas tem-se valores inferiores a 100%, devido à influência do provete que está a absorver a humidade da caixa. No mudança do provete da caixa húmida para a seca já observa-se uma continuidade da curva junto aos 100%.

Deixando de haver uma absorção da humidade pelo provete na caixa húmida a sua humidade absoluta sobe e por sua vez, quando colocado na caixa seca liberta a humidade adquirida anteriormente provocando um aumento da humidade absoluta na caixa seca.

Com a análise do gráfico da figura 4.10 e dos valores inseridos na tabela 4.11 observa-se uma diferença de 3% no fim do ensaio nas caixas húmidas e de 70% no fim do ensaio das caixas secas.

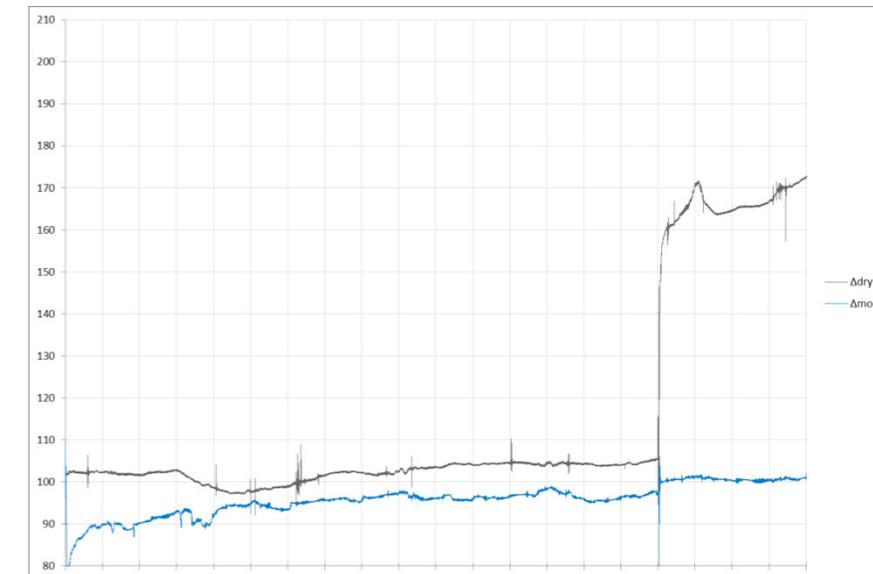


Figura 4.11 | Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco do provete C01.

Tabela 4.10 | Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas do provete C01.

	Início ensaio	Fim ensaio
$\Delta$ dry	106%	173%
$\Delta$ moist	100%	97%

### IV.4.3. Análise do provete C14

Como forma de alguma comparação com o provete analisado anteriormente, seguiu-se o ensaio ao provete C14, com a mesma forma que o anterior mas com menor relação área/volume, tal como foi descrito na tabela 4.7.

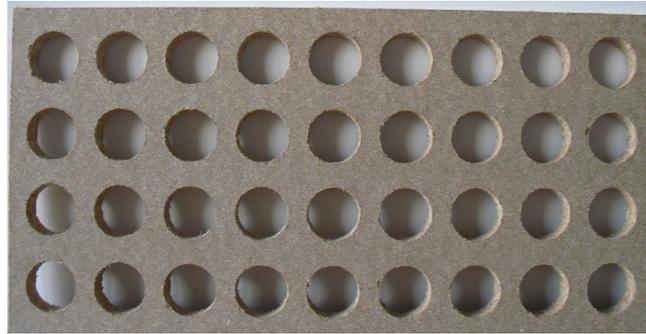


Figura 4.12| Provete C14.

O gráfico da figura 4.13 corresponde ao ensaio do provete C14 na caixa 4 até as 48h e na caixa 3 a partir desse mesmo momento durante 30h seguintes.

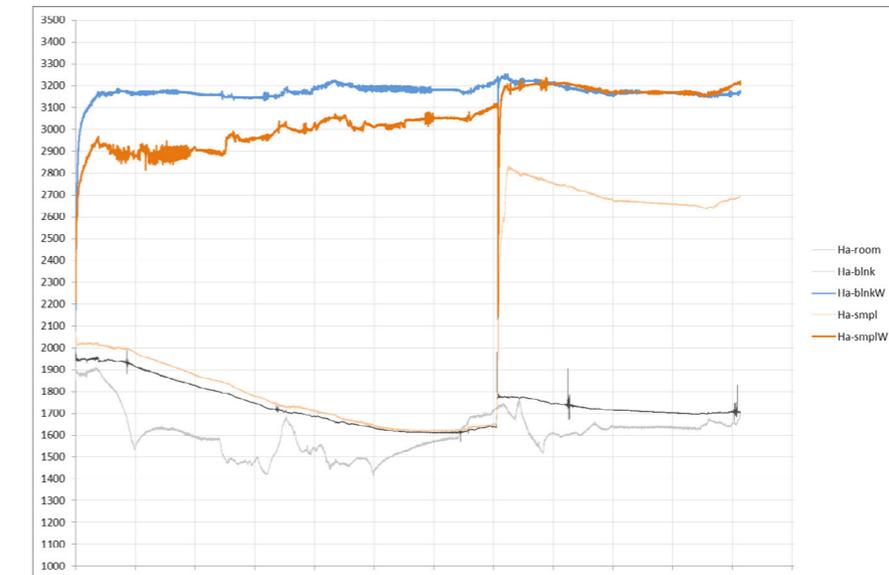


Figura 4.13| Gráfico humidade absoluta do provete C14.

A curva da Ha-smpIW inicia com um valor de 2237 Pa subindo para os 2935 Pa, e a Ha-blkW inicia com 2179 Pa subindo até aos 3138.

É visível neste provete, através da análise da curva Ha-smpIW ao longo das 48h uma curva muito instável, com muitas variações em espaços de tempo muito curtos sobretudo entre o início do ensaio e as 12h.

Quando o provete passa para a caixa seca, os valores de Ha-smpIW e de Ha-blkW tendem a aproximar-se ficando com curvas sobrepostas.

Passando para a análise do gráfico da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco apresentado na figura 4.14, observa-se algumas variações em curtos espaços de tempo sobretudo até as 12h de ensaio com valores sempre a baixo dos 100%, atingindo esses valores quando o provete é colocado na caixa seca.

Nesse momento de troca de provete a curva correspondente as caixas secas nas primeiras 42h de ensaio apresenta valores constantes acima dos 100%, subindo a partir desse momento para valores entre os 160% e os 150%, ultrapassando estes valores apenas com pequenos picos de variações do ensaio.

Através da tabela 4.11 obtêm-se de forma mais clara os valores de variações do comportamento das caixas secas e das caixas húmidas. Assim sendo, existe uma diferença de 3% no fim do ensaio das caixas húmidas e 58% no fim do ensaio das caixas secas.

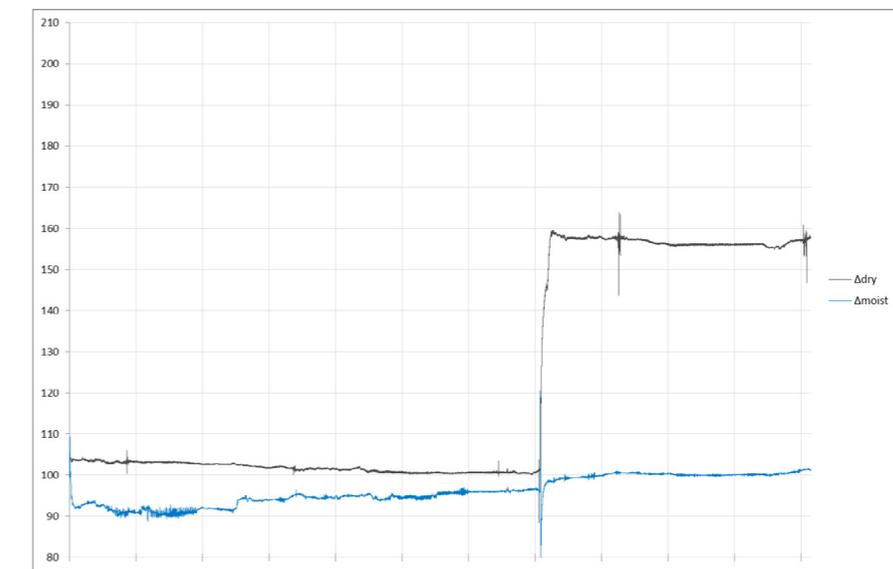


Figura 4.14 | Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco do provete C14.

Tabela 4.11 | Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas do provete C14.

	Início ensaio	Fim ensaio
$\Delta$ dry	101%	158%
$\Delta$ moist	102%	97%

#### IV.4.4. Análise do provete Q01

Segue-se o ensaio ao provete Q01 com forma quadrangular que por sua vez corresponde ao que tem maior relação área/volume segundo a tabela 1.6. Os orifícios deste provete correspondem aos mesmos do provete C01, a diferença é para além da sua relação área/volume a sua própria forma.

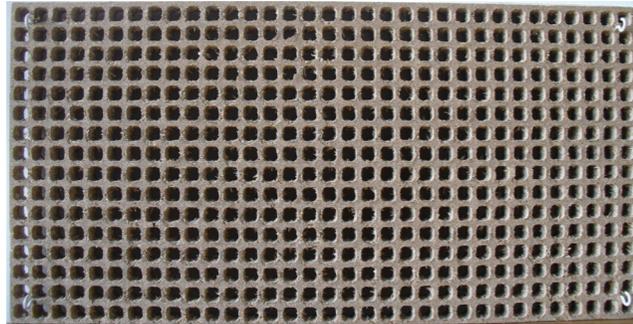


Figura 4.15 | Provete Q01.

Através da análise do gráfico da figura 4.16 observa-se no início da análise a Ha-smplW apresenta um valor de 1947 Pa e a Ha-blnkW com 204 Pa, subindo para valores de 2893 Pa e 3242 Pa respectivamente.

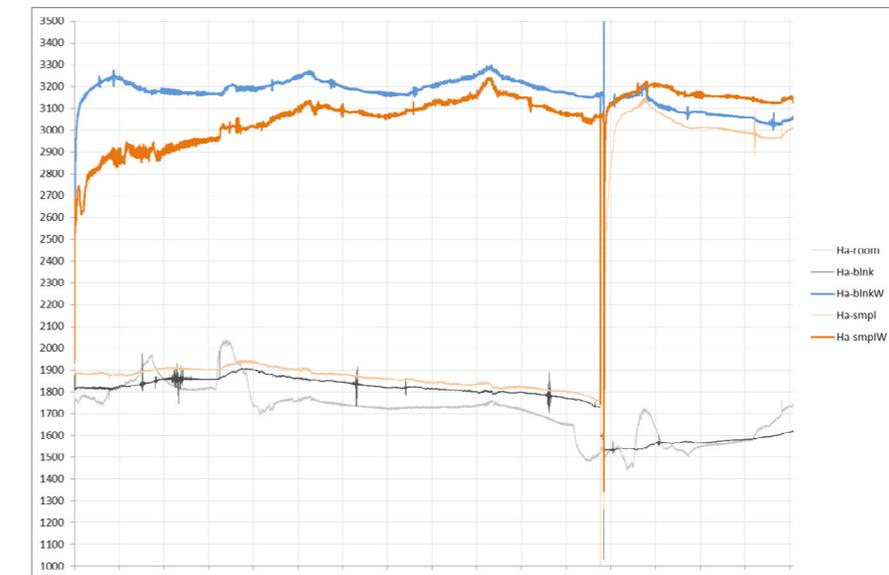


Figura 4.16 | Gráfico humidade absoluta do provete Q01.

A curva higroscópica de Ha-smplW apresenta um comportamento irregular ao longo das 72h de análise, juntamente com as variações em curtos espaços de tempo. Isto mostra como o processo é feito de forma muito lentamente pela quantidade de variações em curtos espaços de tempo que está sempre a existir durante todo o ensaio.

Depois destas 72h de ensaio quando se troca o provete para a caixa seca existe uma grande aproximação dos valores de Ha-smplW, Ha-blnkW e Ha-smpl.

A figura 4.17 apresenta o gráfico da diferença de variação da humidade nos dois ambientes de caixas diferentes, onde têm-se nas caixas secas um comportamento constante até às 72h, com valores acima dos 100%, subindo a partir das 72h para valores entre os 200% e os 180% no fim do ensaio.

As caixas húmidas apresentam valores inferiores aos 100% pelo efeito do provete, alcançando os valores junto da linha dos 100% a partir das 72h de ensaio quando o provete passa para a caixa seca.

A tabela 4.12 mostra o comportamento das caixas secas e húmidas em que existe uma diferença no fim do ensaio das caixas húmidas de 3% e de 86% no fim de ensaio nas caixas secas, comprovando aqui a grande quantidade de humidade absorvida pelo provete na caixa húmida, libertada na caixa seca.

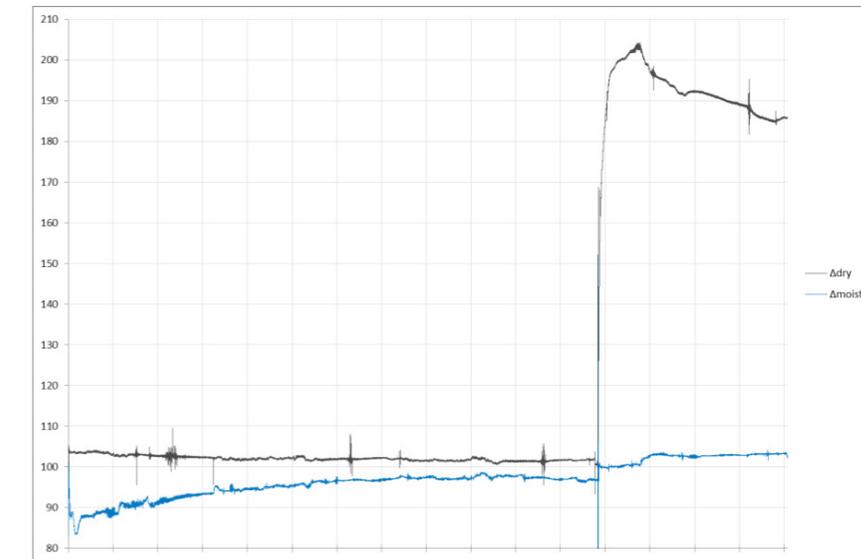


Figura 4.17 | Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco do provete Q01.

Tabela 4.12 | Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas do provete Q01.

	Início ensaio	Fim ensaio
$\Delta$ dry	102%	186%
$\Delta$ moist	95%	97%

#### IV.4.5. Análise do provete Q02

No seguimento da análise do provete Q01, optou-se pela análise do provete que, tal como apresentado na tabela 4.7 é o segundo com maior relação de área/volume.

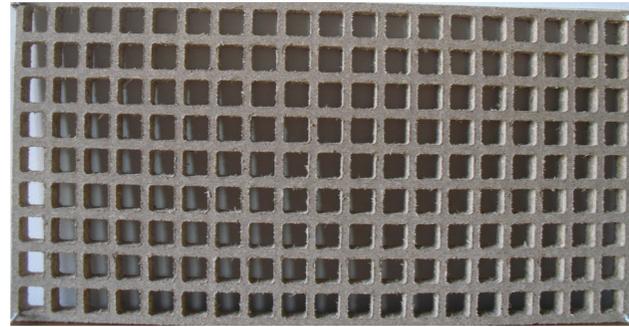


Figura 4.18 | Provete Q02.

Através da análise do gráfico da figura 4.19 tem-se uma curva de Ha-smplW e de Ha-blkW, que apresentam uma grande subida no início do ensaio quando estas duas caixas húmidas são fechadas.

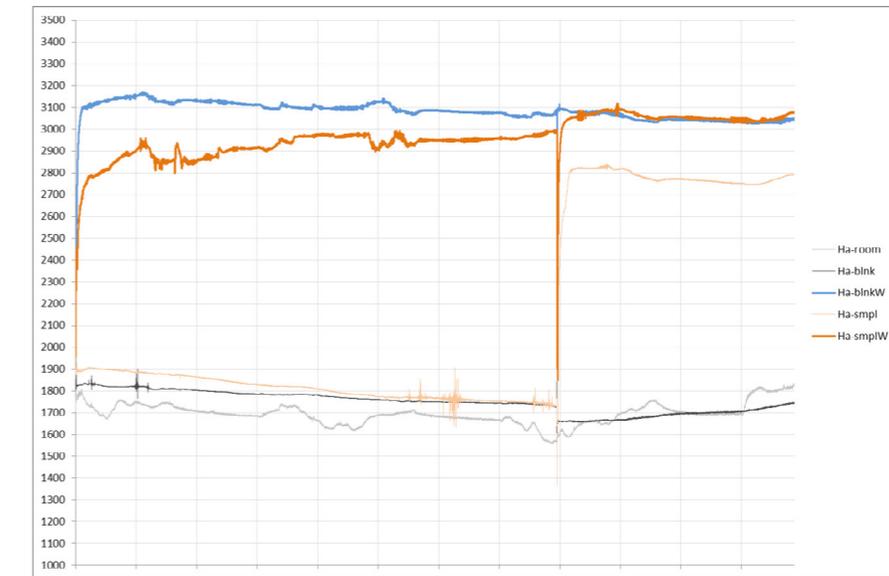


Figura 4.19 | Gráfico humidade absoluta do provete Q02.

Desta forma, no início do ensaio a caixa 4 (Ha-smplW) tem uma humidade absoluta de 2055 Pa subindo para 2888 Pa nas primeiras 6h de ensaio. Na caixa 2 (Ha-blkW) tem-se também uma grande subida da humidade absoluta, porém estes valores são mais elevados em comparação com a caixa anterior, devido a esta não receber o provete. Nesta caixa obtém-se uma subida da humidade absoluta de 1885 Pa para 3147 Pa.

Observando a curva higroscópica Ha-smplW são notórios dois grandes momentos de absorção da humidade por parte do provete, que correspondem ao momento entre as 6h e as 12h e entre as 29h e as 35h. A partir das 35h há uma estabilização.

A curva Ha-smpl tem um comportamento constante até às 48h, momento em que esta caixa recebe o provete, levando a uma subida de 1732 Pa para 2790 Pa nas primeiras 2h seguintes. Neste momento vê-se também a semelhança das caixas húmidas (Ha-smplW e Ha-blkW), agora sem provete.

Analisando o gráfico da figura 4.20 pode-se ver o comportamento das variações nas caixas secas e húmidas.

O comportamento das caixas secas apresenta valores muito próximos dos 100%, enquanto que a partir das 48h ou seja, no início do ensaio com o provete, há uma grande subida da quantidade de humidade que varia entre os 160% e os 170%.

As caixas húmidas apresentam valores inferiores a 100% quando o provete está na caixa húmida passando para valores sempre muito próximos de 100% quando o provete é retirado da caixa húmida.

A tabela 4.13 completa a figura 4.20, mostrando de forma numérica a variação do comportamento das caixas em que existe uma diferença de 2% no fim do ensaio das caixas húmidas e de 60% no fim do ensaio das caixas secas.

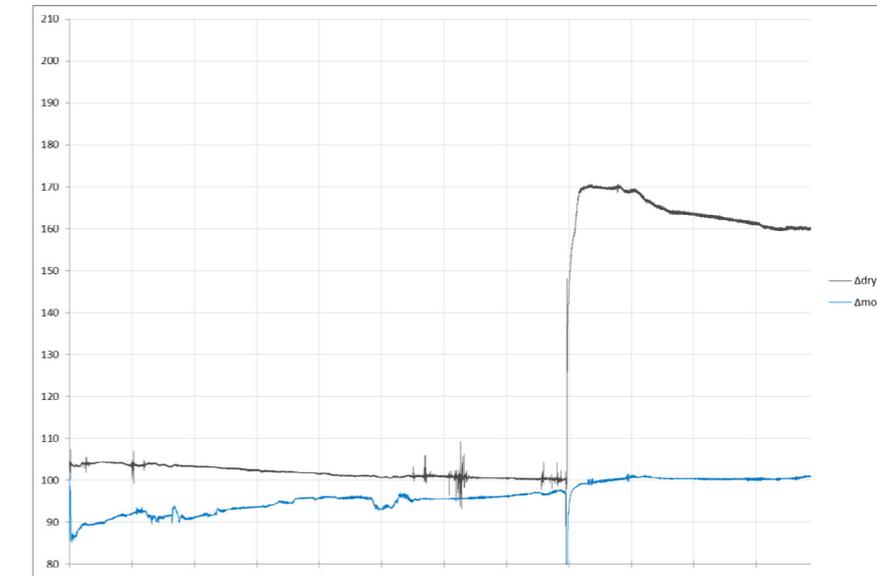


Figura 4.20 | Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco do provete Q02.

Tabela 4.13 | Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas do provete Q02.

	Início ensaio	Fim ensaio
$\Delta$ dry	100%	160%
$\Delta$ moist	94%	98%

#### IV.4.6. Análise do provete C12

A penúltima análise foi feita ao provete C12 que é o penúltimo apresentado com menor relação área/volume tal como já foi descrito na tabela 4.7.

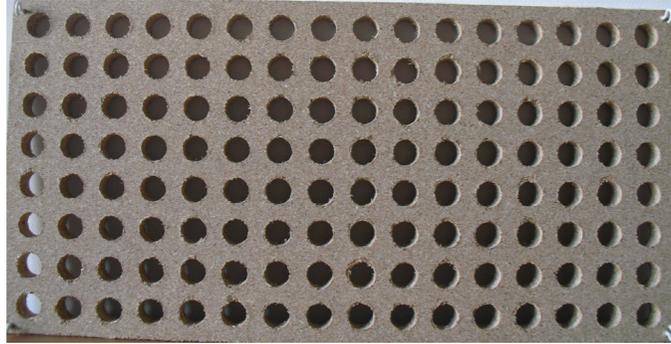


Figura 4.21 | Provete C12.

No início do ensaio observa-se uma subida da Ha-smplW de 2181 Pa para 2637 Pa e da Ha-blkW de 2296 Pa para 2961 Pa, como se pode observar no gráfico da figura 4.22.

Após este momento de grande subida da humidade absoluta, obtém-se perto das 6h até às 30h de ensaio uma grande instabilidade da Ha-smplW em que o material está sempre a libertar e a adsorver humidade e só a partir das 30h é que começa a haver estabilidade.

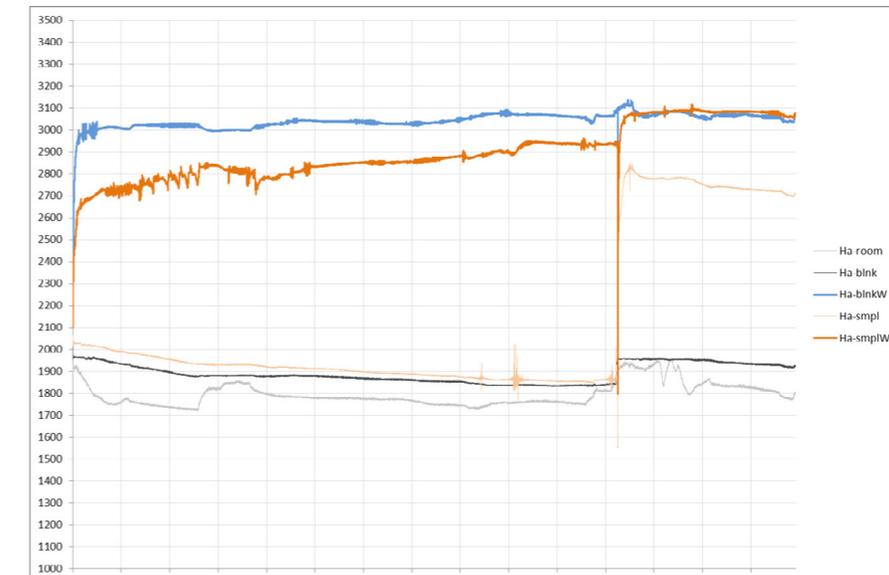


Figura 4.22 | Gráfico humidade absoluta do provete C12.

Este ensaio prolonga-se até às 67h e após este momento tem-se uma grande descida do valor de Ha-smplW correspondente à troca do provete para a caixa seca. Depois desta troca volta a haver uma subida, passando a ser constante por não conter o provete.

A curva higroscópica Ha-smpl apresenta um comportamento constante até às 67h de ensaio, subindo de 1865 Pa para 2823 Pa quando o provete é colocado na caixa seca. Nesta altura obtém-se uma libertação da humidade do provete muito rápida (em menos de 6h), estabilizando de seguida.

No gráfico presente na figura 4.23 têm-se nas variações das caixas secas valores muito próximos dos 100% e constantes, passando a partir das 67h de análise para valores entre os 145% e os 140%, correspondentes ao momento em que a caixa seca recebe o provete vindo da caixa húmida.

Nas caixas húmidas nas primeiras 30h de análise há uma grande instabilidade dos valores até as 67h. Esses valores encontram-se sempre inferiores aos 100%, atingindo apenas essa percentagem quando há a troca do provete de caixa.

A tabela 1.14 mostra a variação das caixas na qual existe uma diferença de 4% no fim do ensaio das caixas húmidas e de 41% no fim do ensaio das caixas secas.

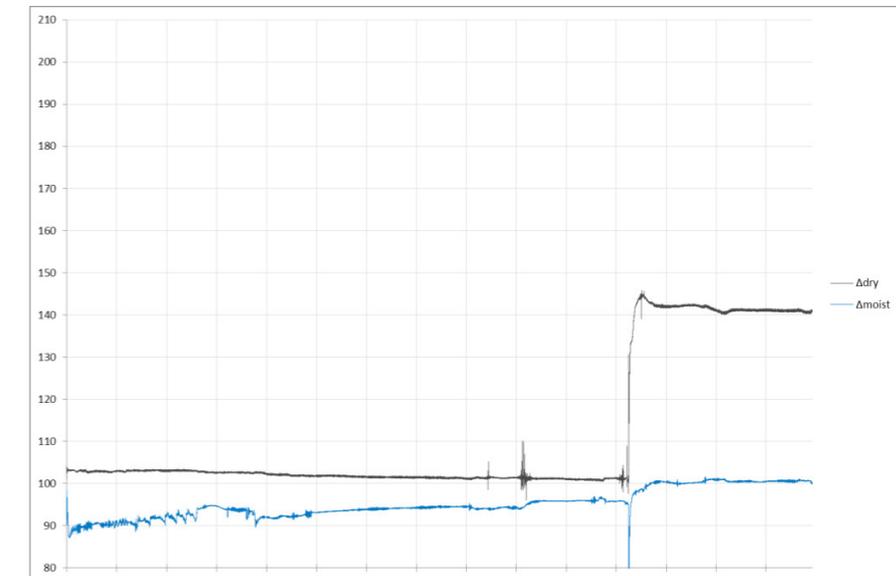


Figura 4.23| Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco do provete C12.

Tabela 4.14| Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas do provete C12.

	Início ensaio	Fim ensaio
$\Delta$ dry	101%	141%
$\Delta$ moist	95%	96%

#### IV.4.7. Análise do provete C02

O último ensaio feito foi ao provete C02, que segundo a tabela 4.7 é dos que apresenta uma relação área/volume intermédia dos restantes já descritos.

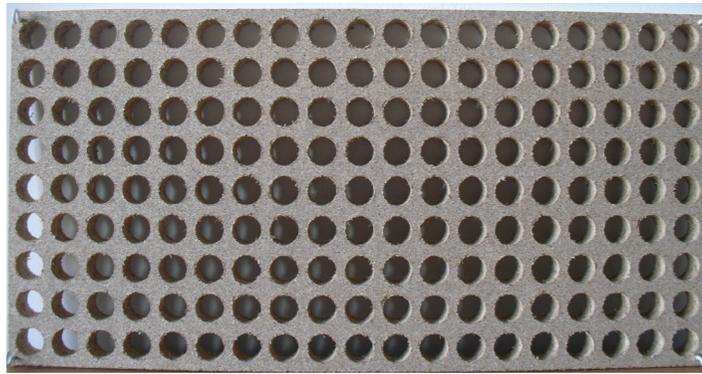


Figura 4.24 | Provete C02.

Com a análise do gráfico da figura 4.24 é evidente, como em todos os provetes analisados anteriormente uma subida dos valores de Ha-blkW e de Ha-smplW de 1862 Pa e de 1702 Pa para 2923 Pa e de 1702 Pa para 2593 respetivamente.

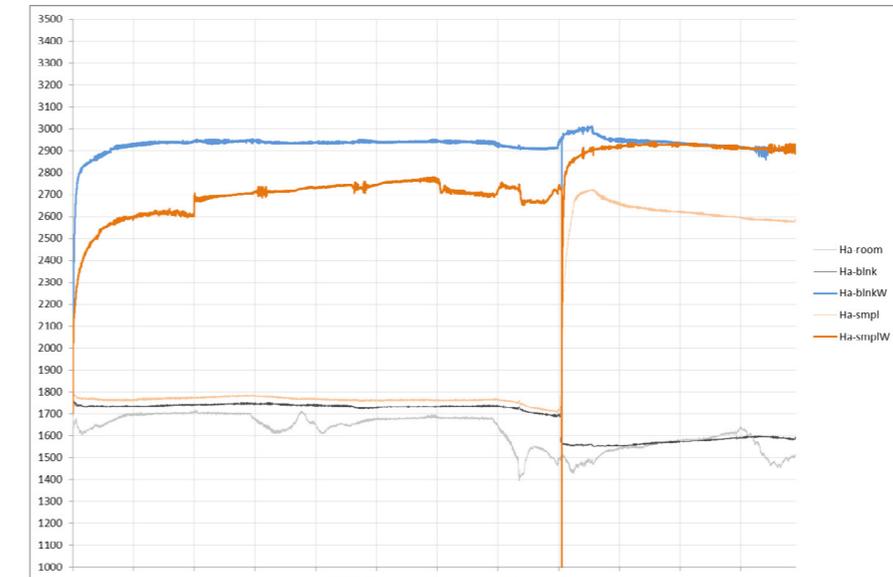


Figura 4.25 | Gráfico humidade absoluta do provete C02.

Como pode-se observar a curva Ha-smplW nas primeiras 12h tem uma subida com uma forma curva, tendo depois uma subida mantendo-se constante. Após as 48h de ensaio esta curva tem uma grande descida da humidade absoluta, quando a caixa é aberta para a troca do provete para a caixa seca, subindo rapidamente até ficar semelhante a curva de Ha-smplW.

A curva Ha-smpl apresenta-se quase de forma completamente linear até às 48h, subindo com a troca de provete de 1713 Pa para 2719 Pa, estabilizando a partir das 6h de ensaio do provete na caixa seca.

Com a análise do gráfico da figura 4.25, tem-se as variações das caixas secas que aparece apresentada por uma curva muito linear junto à linha dos 100%, subindo nas 48h para valores entre os 180% e os 160%.

A curva correspondente às caixas húmidas apresenta valores abaixo da linha dos 100%, com algumas irregularidades até às 48h, subindo para a junto da linha dos 100%, tendo um comportamento constante até ao fim do ensaio.

Neste último ensaio, na tabela 4.15 tem-se uma diferença no fim dos ensaios das caixas húmidas e das caixas secas com uma diferença de 7% e de 63%, respetivamente.

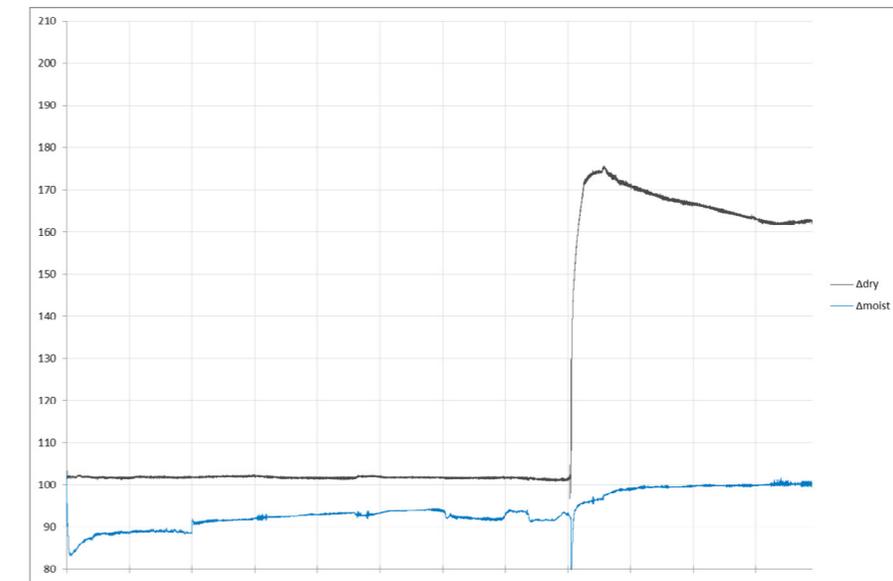


Figura 4.26 | Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido e do espaço seco do provete C02.

Tabela 4.15 | Percentagens exatas das variações de humidade nas caixas secas e húmidas do provete C02.

	Início ensaio	Fim ensaio
$\Delta$ dry	101%	163%
$\Delta$ moist	91%	93%

#### IV.5. Análise conjunta integrada

O gráfico apresentado na figura 4.27, corresponde à conjugação dos gráficos dos seis provetes sobre a diferença da variação dos valores no espaço húmido. Neste gráfico, surge apenas o momento correspondente às primeiras 42 horas do ensaio, momento em que todos os provetes parecem chegar a um equilíbrio com o ambiente húmido. No gráfico, as linhas verticais correspondem aos limites de períodos de seis horas.

Através da análise deste gráfico, pode-se fazer de forma mais detalhada uma comparação entre os seis provetes. Neste momento de ensaio nas caixas húmidas obtém-se valores abaixo dos 100% até às 42h de ensaio, em que há uma grande aproximação e até mesmo sobreposição de valores dos ensaios dos provetes sobretudo entre as 6h e as 18h de ensaio, com curvas que apresentam algumas variações nos comportamentos no início do ensaio até às primeiras 6h e a partir das 18h até às 42h.

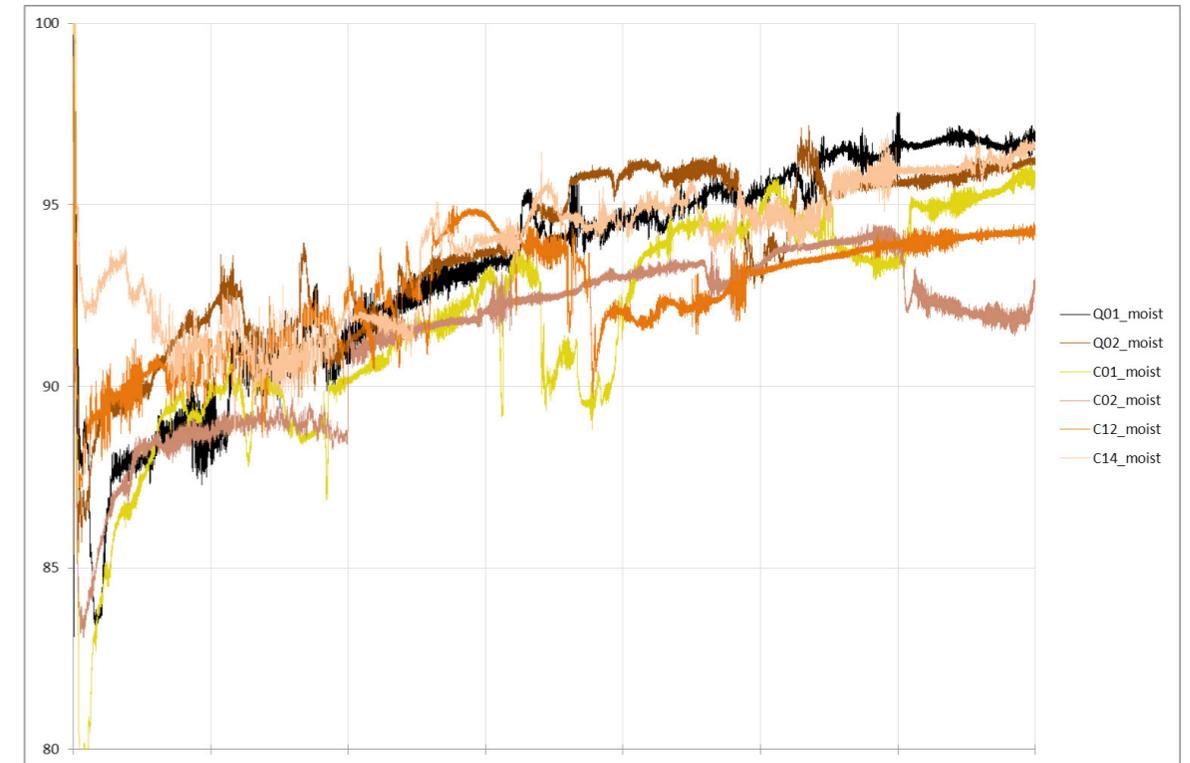


Figura 4.27 | Gráfico da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes até às 42 horas ordenadas de acordo com humidade absoluta.

Tabela 4.17 | Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no 1º período de ensaio (0-6h).

A	V	A/V (m <sup>-1</sup> )	Média (0-6h)	Provetes
3985,6	1587,5	2,5	86,8	C01
2753,4	1354,8	2,0	87,4	C02
4734,8	1371,8	3,5	87,8	Q01
2375,4	1611,4	1,5	89,9	C12
3165,2	1075,4	2,9	90,0	Q02
1656,9	1515,9	1,1	92,0	C14

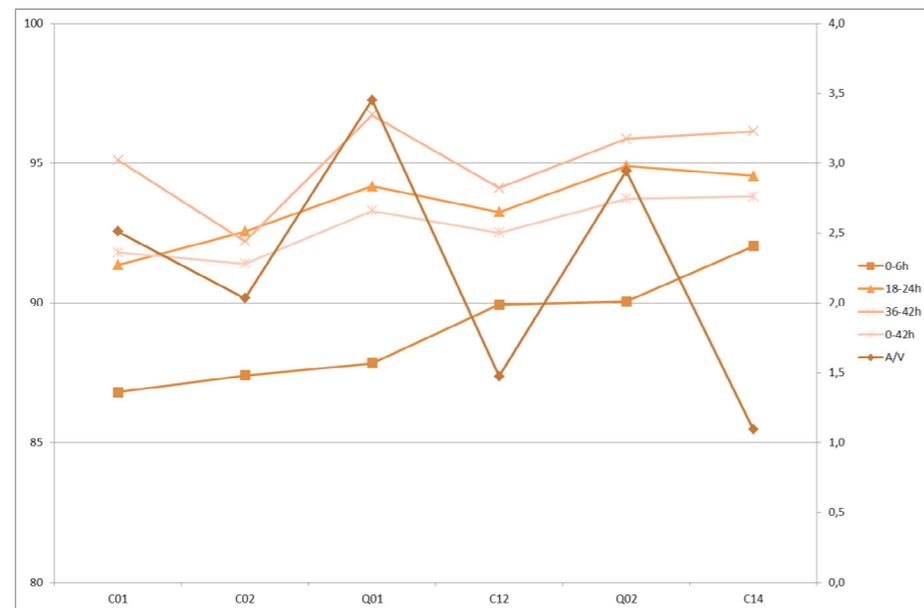


Figura 4.28 | Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes no 1º período ordenadas de acordo com o período de tempo entre as 0 - 6h.

Para uma abordagem mais detalhada e comparativa dos provetes, o gráfico é dividido em três momentos, sendo esses o que corresponde ao período entre o início do ensaio e as 6h, o período entre as 18h e as 24h e entre as 36h e 42h de ensaio. O início do ensaio não é analisado a partir das 0h mas a partir dos 15 minutos, que é o tempo aproximado para equilíbrio das condições no interior da caixa após o início do ensaio. Com uma primeira abordagem aos resultados dos gráficos surgiu a necessidade do cálculo da média da variação da humidade no espaço húmido para cada um dos períodos de ensaio, proporcionando uma análise mais detalhada e acertiva da influência dos provetes no espaço.

Desta forma no primeiro período (ver tabela 4.17 e figura 4.28) existem três provetes que adsorvem uma grande quantidade de humidade num curto espaço de tempo, sendo esses o C01, o C02 e o Q01 os que em média fazem descer a humidade no espaço, diminuindo para os 87% com os dois primeiros provetes mencionado e para 88% no último. O provete C14 neste 1º período de ensaio proporciona apenas uma descida da humidade para os 92%.

Através da análise da tabela 4.18, onde aparece por ordem os provetes que têm maior capacidade de absorção ou seja, os que proporcionam uma maior descida da humidade no espaço no 1º período de ensaio, encontram-se assinalados com maior destaque os dois maiores valores de área, volume e percentagem da relação entre área/volume.

O provete C01, contém o segundo valor mais elevado de área e de volume, embora o seu valor de relação entre área/volume seja um valor intermédio, este provete é o que possui maior capacidade de absorção neste primeiro período. Por sua vez o provete que absorve menos é o que contém valores de área e de volume intermédios e o que contém o valor de relação área/volume menor.

No 2º período (ver tabela 4.18 e figura 4.29) de análise tem-se novamente o provete C01 com maior percentagem de adsorção da humidade, e por sua vez com as mesmas características dos valores de área, volume e percentagem da relação de área/volume. Em contrapartida, neste período o provete Q02 é o que apresenta menor capacidade de absorção, mas com uma percentagem de relação entre área/volume mais elevada do que o C01.

Por último, nesta análise do comportamento dos provetes nas caixas húmidas, o 3º período de ensaio (ver tabela 4.19 e figura 4.30) caracteriza-se como sendo aquele em que é evidente uma diferenciação entre os provetes, que por sua vez encontram-se num momento de estabilização. Neste momento o provete C02 é o que contém maior capacidade de absorção, enquanto que o provete Q01 é o que absorve menos. Este último provete, embora sendo o que tem menor capacidade de absorção é o que possui maior área e maior percentagem de relação área/volume, enquanto que o C02 contém todos estes parâmetros intermédios, em comparação com todos os mencionados.

Tabela 4.18 | Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no 2º período de ensaio (18-24h).

A	V	A/V (m <sup>-1</sup> )	Média (18-24h)	Provetes
3985,6	1587,5	2,5	91,4	C01
2753,4	1354,8	2,0	92,6	C02
2375,4	1611,4	1,5	93,3	C12
4734,8	1371,8	3,5	94,2	Q01
1656,9	1515,9	1,1	94,5	C14
3165,2	1075,4	2,9	94,9	Q02

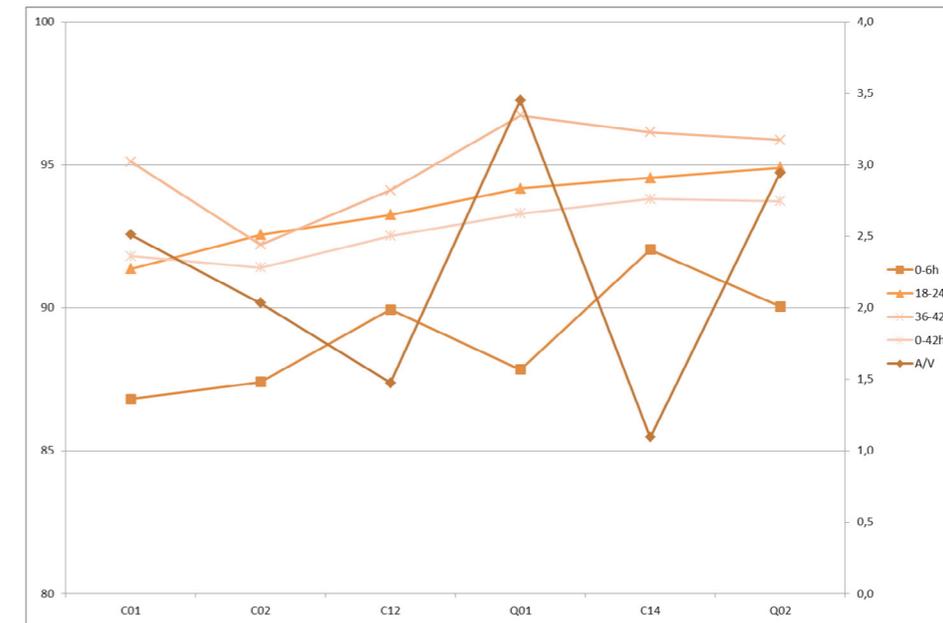


Figura 4.29 | Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes no 2º período ordenadas de acordo com o período de tempo entre as 18-24h.

Tabela 4.19 | Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no 3º período de ensaio (36-42h).

A	V	A/V (m <sup>-1</sup> )	Média (36-42h)	Provetes
2753,4	1354,8	2,0	92,2	C02
2375,4	1611,4	1,5	94,1	C12
3985,6	1587,5	2,5	95,1	C01
3165,2	1075,4	2,9	95,9	Q02
1656,9	1515,9	1,1	96,1	C14
4734,8	1371,8	3,5	96,7	Q01

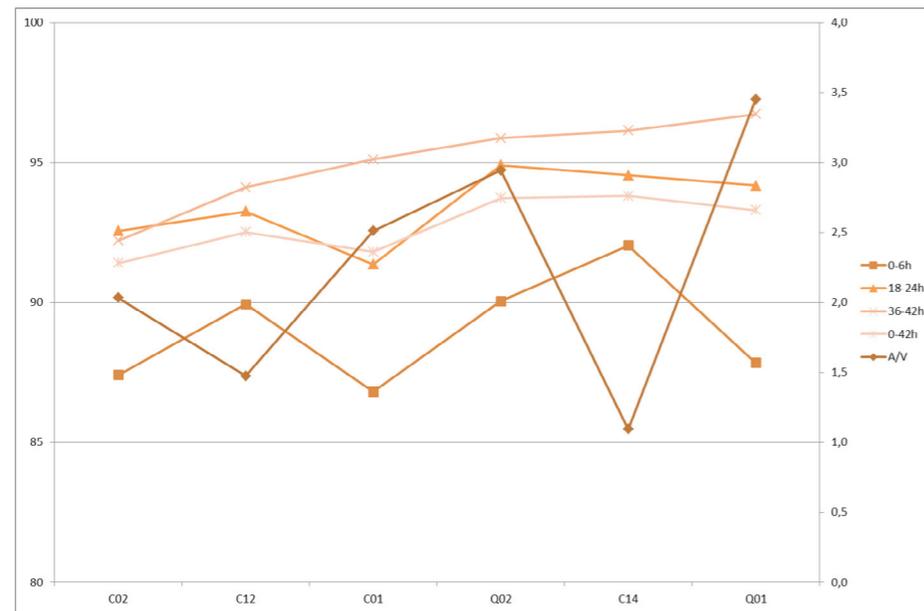


Figura 4.30 | Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes no 3º período ordenados de acordo com o período de tempo entre as 36-42h.

Tabela 4.20 | Hierarquia dos provetes com maior capacidade de absorção no ensaio completo (0-42h).

A	V	A/V (m <sup>-1</sup> )	Média (36-42h)	Provetes
2753,4	1354,8	2,0	92,2	C02
3985,6	1587,5	2,5	95,1	C01
2375,4	1611,4	1,5	94,1	C12
4734,8	1371,8	3,5	97	Q01
3165,2	1075,4	2,9	95,9	Q02
1656,9	1515,9	1,1	96,1	C14

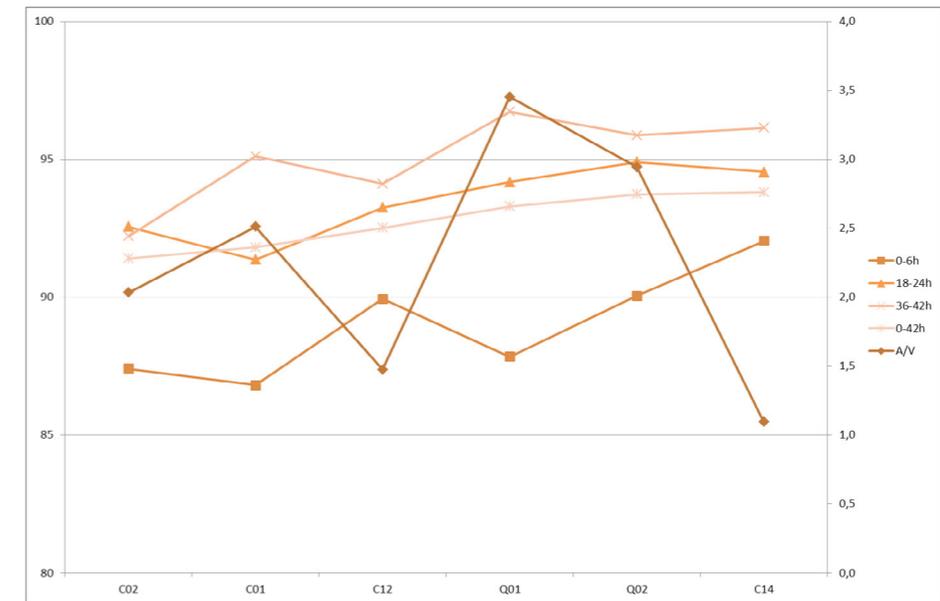


Figura 4.31 | Gráfico da média da diferença da variação dos valores do espaço húmido de todos os provetes ordenados de acordo com o período de tempo total entre as 0-42h.

Analisando o conjunto de todo o período de análise de 42h, presente na tabela 4.20 e no gráfico da figura 4.31, pode-se observar que o provete C02 é o que contém melhores características em adsorver humidade por ter três grandes momentos de absorção ao longo do ensaio e o C01 é o segundo melhor pelas mesmas características.

Observando o gráfico da figura 4.31 pode-se relacionar o que acontece aos provetes nos diferentes períodos de ensaio bem como a sua relação com a área/volume. Analisando o comportamento do melhor provete (C02), este apresenta um valor intermédio de relação área/volume, de  $2,0 \text{ m}^{-1}$ . No período de ensaio das 0-6h e das 18-24h o provete C02 apresenta-se como o segundo melhor com capacidade de absorção, passando no período das 36-42h como o melhor e como análise geral das 42h como o melhor.

Como segundo melhor na análise geral das 42h tem-se o provete C01 que apresenta um valor de relação área/volume um pouco superior ao anterior com um valor de  $2,5 \text{ m}^{-1}$ , apresentando melhor capacidade de adsorção no período de ensaio das 0-6h e no período das 18-24h e com características intermédias no período das 36-42h.

A partir desta análise é perceptível que o melhor provete com capacidade de adsorção não será o que contém maior relação área/volume mas sim o que apresente valores entre os  $2,0 \text{ m}^{-1}$  e os  $2,5 \text{ m}^{-1}$ , ou seja valores intermédios. Parece deste modo que um valor A/V reduzido contribui para uma baixa capacidade de adsorção, o que seria expectável. Por outro lado, o facto de a maior capacidade de adsorção não corresponder à maior relação A/V, sugere que um outro aspeto tenha também influencia na forma como o material contribui para o equilíbrio do ambiente interior. Acredita-se que este novo aspeto seria a capacidade de retenção. Nos provetes com um valor elevado da relação A/V, existirá uma grande capacidade de adsorção, mas uma menor capacidade de retenção da humidade, em comparação com os provetes em que a relação A/V é intermédia. Nos primeiros admite-se que existe uma maior quantidade de moléculas de água adsorvidas à superfície, deste modo, com menor ligação ao material. Assim, estas moléculas de água também evaporam mais facilmente, dando origem a ciclos de adsorção/ desadsorção curtos, e deste modo, a menor retração de humidade no material.

Em contrapartida, os provetes que apresentam menor capacidade de absorção são o C14 e o Q02, sendo o primeiro o que apresenta menor relação área/volume e o segundo o que apresenta um valor muito elevado.

**V.**

**CONCLUSÃO**

## V.1. Considerações finais

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação avaliou e confirmou a importância dos materiais e a sua aplicabilidade na arquitetura e de que modo isso trás grandes benefícios à mesma.

Neste caso em concreto o aglomerado de partículas de madeira é o material estudado como sendo o melhor na categoria das madeiras para o equilíbrio higroscópico no interior dos edifícios.

Os objetivos estabelecidos no início deste trabalho não foram todos alcançados devido à falta de tempo, sendo assim dos 12 provetes fabricados ficaram a faltar ensaiar 6 dos mesmos e a possibilidade de fabricar o sistema à escala real e testá-lo no ambiente real. Porém foram extraídas deste percurso algumas conclusões importantes, despertando um interesse na continuação deste trabalho no futuro.

A elaboração do estado da arte nos três primeiros capítulos permitiu estabelecer conhecimentos importantes para a elaboração de todo o processo de trabalho.

Nesses capítulos compreendeu-se que a produção de vapor de água varia consoante o compartimento e as próprias atividades que são desenvolvidas. As renovações do ar desse compartimento influenciam a humidade no interior do edifício. A relação entre a produção de vapor de água e a taxa de renovações de ar originam a higrometria que por sua vez também contém diferentes classificações.

O estudo do conhecimento da higroscopicidade permitiu encontrar uma fórmula de cálculo da quantidade de humidade que o material é capaz de absorver bem como o cálculo da transferência de humidade através da superfície do material. Os revestimentos aparecem definidos através do conhecimento da relação entre a inércia higroscópica e das suas variações de amplitude média diária relativa que permite quantificar o amortecimento produzido pelos revestimentos, o que permitiu compreender que a madeira é um bom revestimento, que absorvendo humidade aproveita-se para o amortecimento das variações de humidade relativa.

O último capítulo do estado da arte permitiu chegar à conclusão de qual o melhor tipo de madeira a ser aplicado neste tipo de sistema. Com a grande evolução da madeira e depois de analisadas as suas diferentes propriedades das mesmas chegou-se à conclusão

de que os derivados, mais concretamente os aglomerados de madeira são os que contém muitas vantagens nomeadamente a sua maior estabilidade dimensional permitindo que desta forma haja uma boa capacidade de adsorção, com pouca percentagem de variação dimensional. Dentro da grande variedade de derivados de madeira são que têm menor variação dimensional quando sujeito a uma grande variação de humidade. Desta forma os aglomerados de partículas, o OSB e o contraplacado são os que apresentam melhor capacidade de adsorção e menor variação dimensional.

A criação do sistema higroscópico em madeira passou por diferentes fases para o seu início de ensaio, nomeadamente pela fabricação dos provetes de madeira e a realização de todo o sistema de ensaio, elaborado com o apoio do departamento de informática do ISCTE-IUL.

Com a análise dos provetes e relação com a área, o volume e a relação entre a área/volume, a primeira suspeita de que o provete com maior capacidade de absorção seria o com maior relação área/volume, ou seja o Q01, fica completamente anulada, pois com a análise e comparações finais chegou-se à conclusão de que o provete com maior relação área/volume não implica uma melhor capacidade de adsorção, pois um provete que tenha uma grande área parece ter uma menor retenção das moléculas de água, fazendo apenas com que elas permaneçam lá durante um curto espaço de tempo de desapareçam; por outro lado um provete com grande volume também não é sinal de maior capacidade de adsorção pois esse apresenta também um limite na capacidade de adsorção resultante de menor área de absorção.

Desta forma conclui-se que o melhor provete seria o C02 com um valor intermédio de relação entre área/volume.

## **V.2. Desenvolvimentos futuros**

Devido à não concretização de todos os objetivos existem uma série de perspectivas para ensaios futuros para chegar-se a uma peça final, tal como era o objetivo inicial do trabalho.

O processo que se segue a esta primeira abordagem é a calibração dos sensores para obtenção de valores mais exatos.

O segundo passo é voltar a fazer-se ensaios aos provetes já analisados mas com intervalo de tempo de 15 em 15 segundo ao invés de 1 em 1 segundo como os anteriormente feitos.

Numa terceira fase será recomendado a elaboração de ensaios aos provetes que não foram sujeitos a ensaio na primeira fase do trabalho, para assim confirmar-se se algum desses seria melhor que o provete C02.

Haverá a possibilidade de fazer-se protótipos com outros materiais que poderão ser também interessantes para esta questão do controle higroscópico em espaços no interior dos edifícios.

# **BIBLIOGRAFIA**

- Bergman, R. et al., Abril 2010. Wood Handbook, Wood as Engineering Material.
- Coutinho, J. d. S., 1999. Materiais de Construção Madeiras.
- Cruz, H. & Nunes, L., s.d. A madeira como material de construção. Laboratório de engenharia civil.
- Faustino, J. d. J. P., 1997. Análise de soluções construtivas fase à difusão de vapor. Importância da Composição e do Clima.. Universidade do Porto.
- Ferreira, C. S. F. M., 2008. Importância da Inércia Higroscópica em Museus. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Jorne, F. J. F., 2010. Análise do Comportamento Higrotérmico de Soluções Construtivas de Paredes em Regime Variável. Universidade Nova de Lisboa.
- Júnior, J. A. B., 2006. Avaliação Não Destrutiva da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira de Edifícios Antigos. Porto.
- Klock, U., Muniz, G. I. B. d., Hernandez, J. A. & Andrade, A. S. d., 2005. Química da Madeira. Curitiba.
- Machado, N. C. d. C. M., 2006. Variação Dimensional da Madeira devida ao seu Comportamento Higroscópico. Porto.
- Martins, T. F. R. M., 2010. Dimensionamento de Estruturas em Madeira. Coberturas e Pavimentos. Lisboa
- Pereira, S. S. C., 2009. Avaliação Experimental das Principais Mecânicas Peças Estruturais em Madeira Antiga. Porto.

- Ramos, N. M. M., 2000. Modelação da Variação da Humidade Relativa no Interior dos Edifícios. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia.
- Ramos, N. M. M., 2007. A Importância da Inércia Higroscópica no Comportamento Higrotérmico dos Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Rato, V. M., 2014.
- Rato, V. M., Maio 2008. Aulas DEC-FCT/UNL.
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C. d. & Braga, A. M., 2009. Térmica de Edifícios. Alfragide: ORION.
- Silva, P. C. P. d., 2006. Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em Visual DOE. Universidade do Minho.
- Simonson, C. J., Salonvaara, M. & Ojanen, T., 2001. Improving indoor climate and confort with wooden structures. Filandia: VTT Publications.
- Sousa, R. M. L., 2012. Avaliação experimental da estabilidade dimensional de elementos em pinho bravo e Madeira tratada termicamente. Universidade do Minho

