

MUSEU DA CIDADE
DE SETÚBAL

FILIFE MANUEL MARTINS TEIXEIRA

The longer I live the more beautiful life becomes. If you foolishly ignore beauty, you will soon find yourself without it. Your life will be impoverished. But if you invest in beauty, it will remain with you all the days of your life.

A Living Architecture : Frank Lloyd Wright and Taliesin Architects (2000) by John Rattenbury

Projeto Final de Curso

2014 | 2015

ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Escola de Tecnologias e Arquitetura

Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Mestrado Integrado em Arquitetura

Vertente Prática

Museu da Cidade de Setúbal

Trabalho Prático submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura

Orientador: Professor Pedro Botelho, Professor Auxiliar Convidado, ISCTE-IUL

Vertente Teórica

Zero Energy Building na Arquitetura Contemporânea

Caso de Estudo: Museu da Cidade de Setúbal

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

Orientador: Professor Doutor Vasco Moreira Rato, Professor auxiliar, ISCTE-IUL

Índice

I. Vertente Prática	10
Proposta de grupo - A Cidade de Setúbal	10
Plano Estratégico	22
Proposta Individual – Museu da Cidade de Setúbal	28
Programa Cultural	31
O lugar	32
O Corpo das Exposições Permanentes	60
A Grande Nave de Exposições	88
A Torre e Cafetaria	104
Serviços Internos do Museu	109
II. Vertente Teórica	111
Zero Energy Building na Arquitetura Contemporânea	116
Caso de Estudo: Museu da Cidade de Setúbal	151



HIPSOMETRIA DE SETÚBAL

CIDADE DE SETÚBAL E ESTRATÉGIA DE GRUPO

Ao lermos a evolução histórica da cidade de Setúbal compreendemos que a velocidade e intensidade de outros tempos abrandou e perguntamo-nos: Que impulsos, adições e vontades geram a metamorfose dos tempos de hoje e amanhã? A frente de rio foi marcante no desenvolvimento de Setúbal, trouxe consigo as atividades piscatórias, as conservas e a agitação das lotas com expectativas perpétuas. Ao mesmo tempo gerou e acumulou enormes tensões e nunca mais estabeleceu uma relação verdadeira com o território que rasgou.

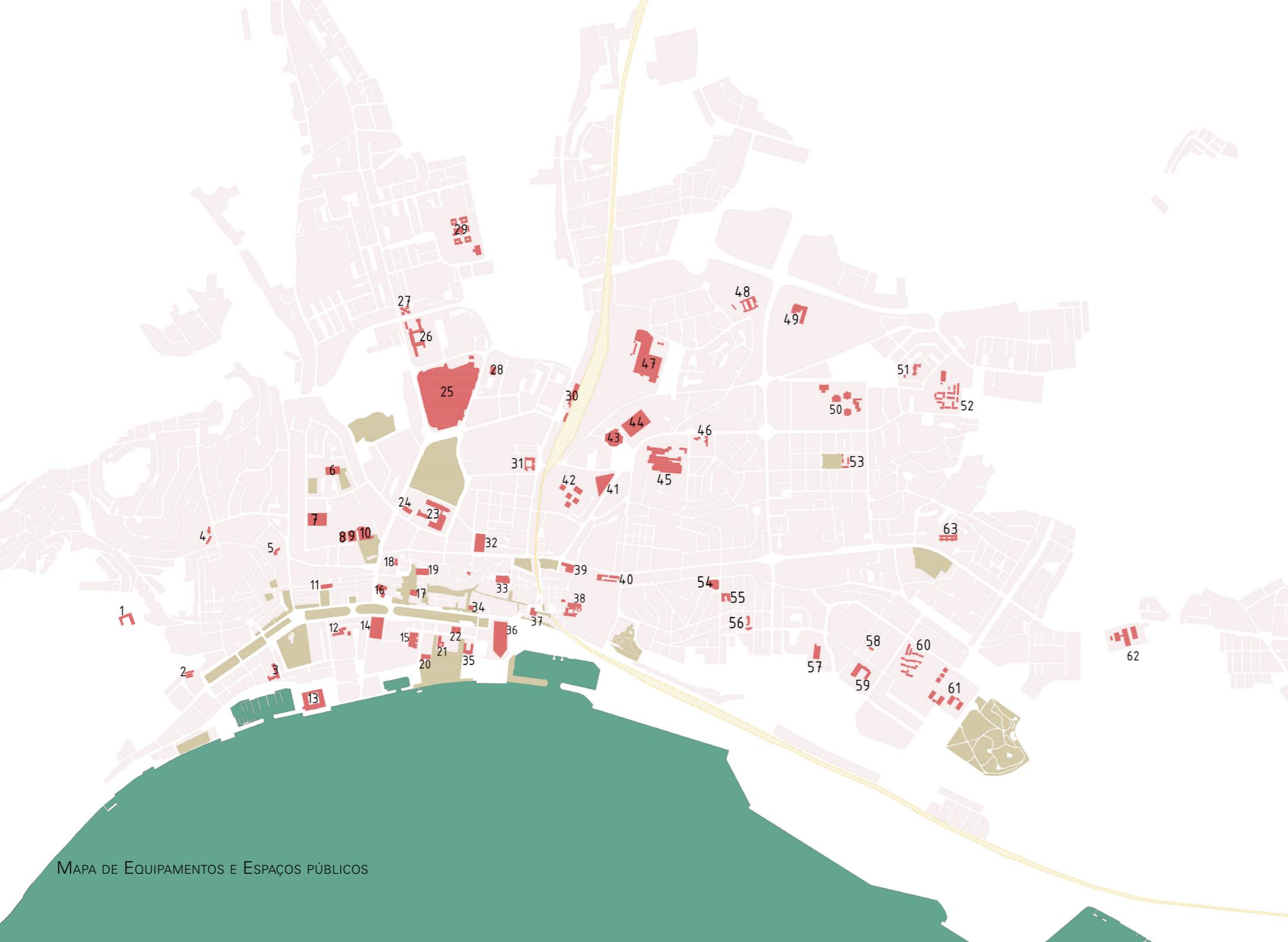
Esta vastíssima área ribeirinha que envolve a cidade está visualmente presente na vivência de Setúbal como pano de fundo. No entanto, percebe-se claramente que não existe uma ligação efetiva, evitando que a cidade se ligue ao rio, muito saturada de volumes e fechada sobre si mesma. É proposto neste trabalho coletivo uma nova realidade onde se cruzem novos usos, formas e espaços, reflexos de um tempo de hoje que aglutine elementos pré-existentes de estrutura verde, edifícios industriais e valências programáticas que deram forma à linha de rio e afirmaram o seu carácter ao longo dos anos.

A cidade deve ser feita de pessoas e cada vez mais deve ser entendida como espaço de aproximação e partilha. Foi para o grupo particularmente importante a ligação da Avenida Luísa Todi ao Parque da Bela Vista através de um percurso público que permitisse articular o jardim Engenheiro Luís da Fonseca e o jardim Camilo Castelo Branco, situando-se estes na confluência desta nova ligação. Com isto pretende-se não só que a estrutura verde crie ligações entre os espaços verdes urbanos e a envolvente Natural mas também que estes espaços possam ser justificados ao se encontrarem dentro de um sistema todo ele agora conectado que permite contagiar positivamente a cidade.

Aliada a esta intenção surge a necessidade de tornar mais harmonizada parte da linha de costa a nascente da cidade de forma a criar um novo porto para os ferries através do redesenhar de um limite hoje fortemente marcado no território. Ao mesmo tempo propõem-se a possibilidade de aqui edificar alguma habitação perpendicular à linha de rio, permitindo a diminuição da escala do novo espaço público que pareceu ao grupo demasiadamente vasto.

Interessou-nos igualmente como é que esta linha de água se poderia relacionar com a cidade a Norte, nomeadamente na relação topográfica entre este limite e a cota da Avenida Belo Horizonte. Propõem-se a revalorização de 4 eixos importantes na zona, todos perpendiculares à linha de água, de forma a promover uma relação efetiva com a orla ribeirinha da cidade ao invés de promover o sentido nascente-poente que durante tantos anos consentiu um crescimento desconexo e sem estabelecer qualquer tipo de relação com o seu rio.

Em todas as vias é proposto um ou mais equipamentos que permitam potenciais pontos de referência ou de reunião que sejam catalisadores de vida urbana numa zona atualmente de carácter bastante periférico. Inclui-se, dentro destes novos usos, a recuperação e reformulação do Mercado Nossa Senhora da Conceição, a criação de um percurso mecanicamente assistido que permite fazer a ligação entre a linha de rio e a zona de cota mais elevada e a implementação de uma valência cultural na zona que circunda o Jardim Camilo Castelo Branco.



LEGENDA:

- 1. Convento de São Francisco
- 2. Externato Diocesano Sebastião da Gama
- 3. Bombeiros voluntários de Setúbal
- 4. Jardim de Infância e Ensino Básico (Escola nº 5 de Setúbal)
- 5. Missionárias da Caridade
- 6. EB1 Nº 3 de Setúbal
- 7. EB1 / JI Montalvão
- 8. Asilo Acácio Barradas
- 9. Academia Luísa Todí
- 10. Igreja e Mosteiro de Jesus
- 11. Centro Social Francisco Xavier
- 12. Jardim de infância - O Aquário
- 13. Edifício da Lota de Setúbal
- 14. Mercado do Livramento
- 15. Tribunal
- 16. PSP de Setúbal
- 17. Igreja de São Julião
- 18. Casa da Cultura
- 19. Câmara Municipal de Setúbal
- 20. INATEL
- 21. Capitania
- 22. Fórum Luísa Todí
- 23. Escola Secundária Sebastião da Gama
- 24. Correios CTT
- 25. Estádio do Bonfim / Pavilhão Antoine Velge
- 26. Escola Secundária Bocage
- 27. Conservatório Regional de Setúbal
- 28. EB1 Nº2 de Setúbal
- 29. Escola Preparatória de Bocage
- 30. Estação Ferroviária de Setúbal
- 31. Convento São João Baptista
- 32. Estação rodoviária
- 33. Igreja de Santa Maria da Graça
- 34. Biblioteca Municipal
- 35. GNR / Brigada Fiscal
- 36. Escola de hotelaria de Setúbal
- 37. Museu do Trabalho "Michel Giacometti"
- 38. Igreja de São Sebastião
- 39. Polícia Judiciária de Setúbal
- 40. GNR
- 41. Superfície comercial
- 42. Escola Básica 2º e 3º Ciclo de Aranguez
- 43. Praça de Touros Carlos Relvas
- 44. Campo da Bela Vista
- 45. Hospital de São Bernardo
- 46. Escola do Pinheirinhos
- 47. Inst. do Emprego e Formação Profissional
- 48. Estabelecimento Prisional de Setúbal
- 49. Hotel Novotel Setúbal
- 50. Escola Secundária João II
- 51. EB1 Nº 6 de Setúbal
- 52. Escola básica Luísa Toddi
- 53. EB1 Nº 10 de Setúbal
- 54. Mercado de Nossa Senhora da Conceição
- 55. Hotel Isidro
- 56. EB1 Nº7 de Setúbal
- 57. Supermercado LIDL
- 58. Escola infantil do Bairro da Bela Vista
- 59. Escola EB1 Bela Vista
- 60. Escola Secundária da Bela Vista
- 61. Escola Secundária de Ana de Castro Osório
- 62. Escola Secundária Dom Manuel Martins
- 63. Escola Primária 1º Maio

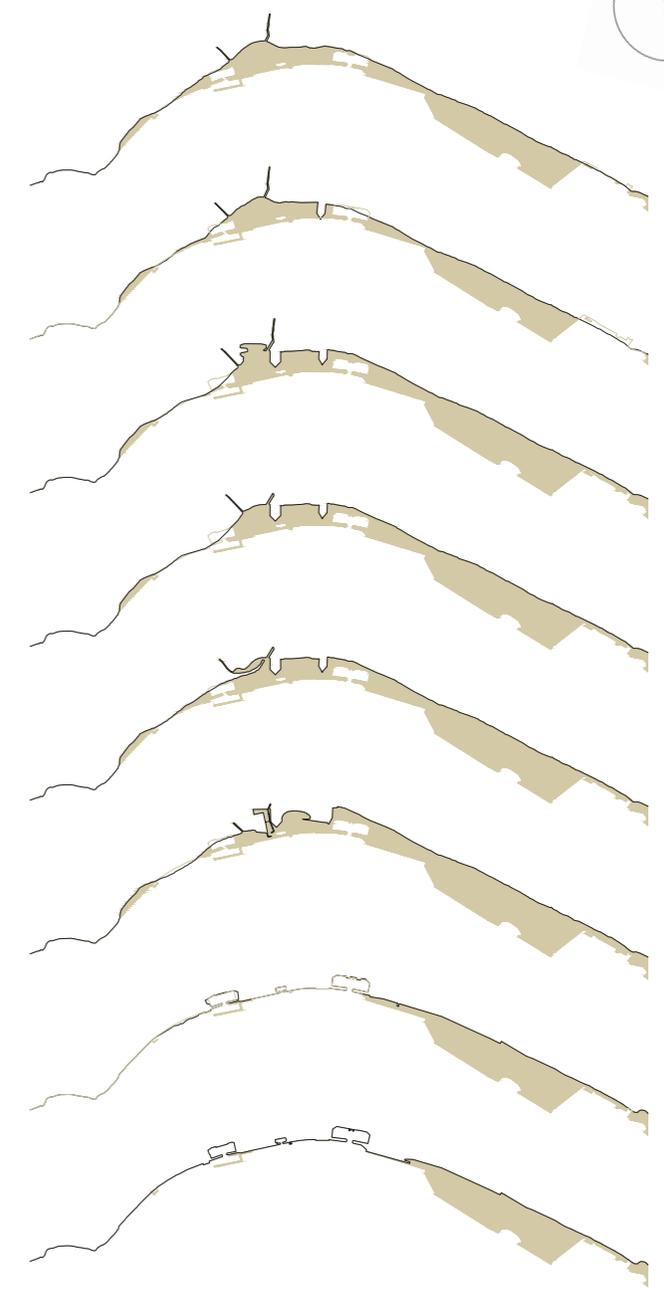
MAPA DE EQUIPAMENTOS E ESPAÇOS PÚBLICOS

■ Equipamentos
 ■ Espaço Público

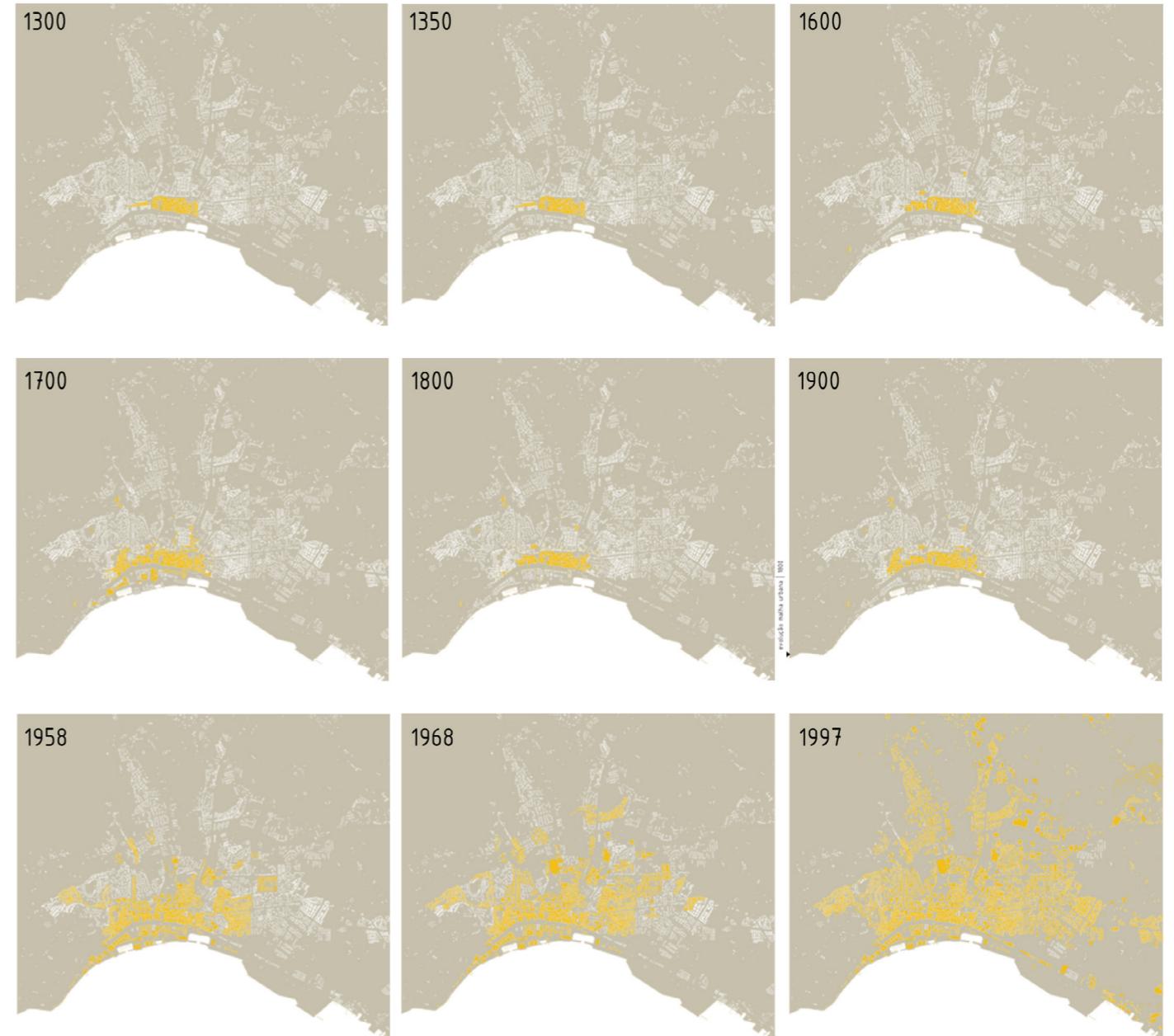


MAPA DE ESPAÇOS VERDES

- Verde Natural
- Verde Agrícola
- Verde Urbano
- Baldio



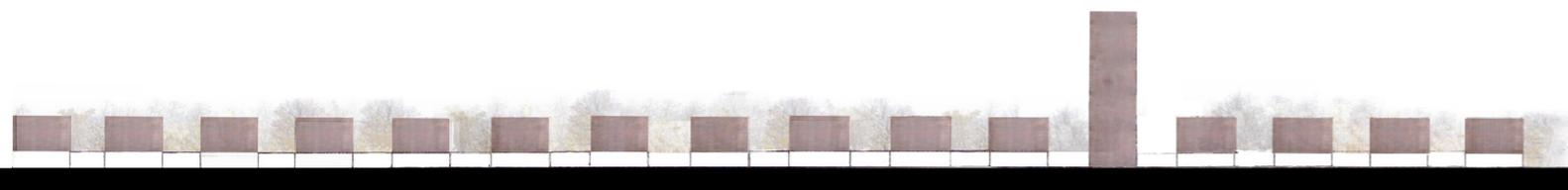
EVOLUÇÃO DA ORLA MARÍTIMA



EVOLUÇÃO DA MALHA URBANA



PLANO GERAL DA ESTRATÉGIA DE GRUPO



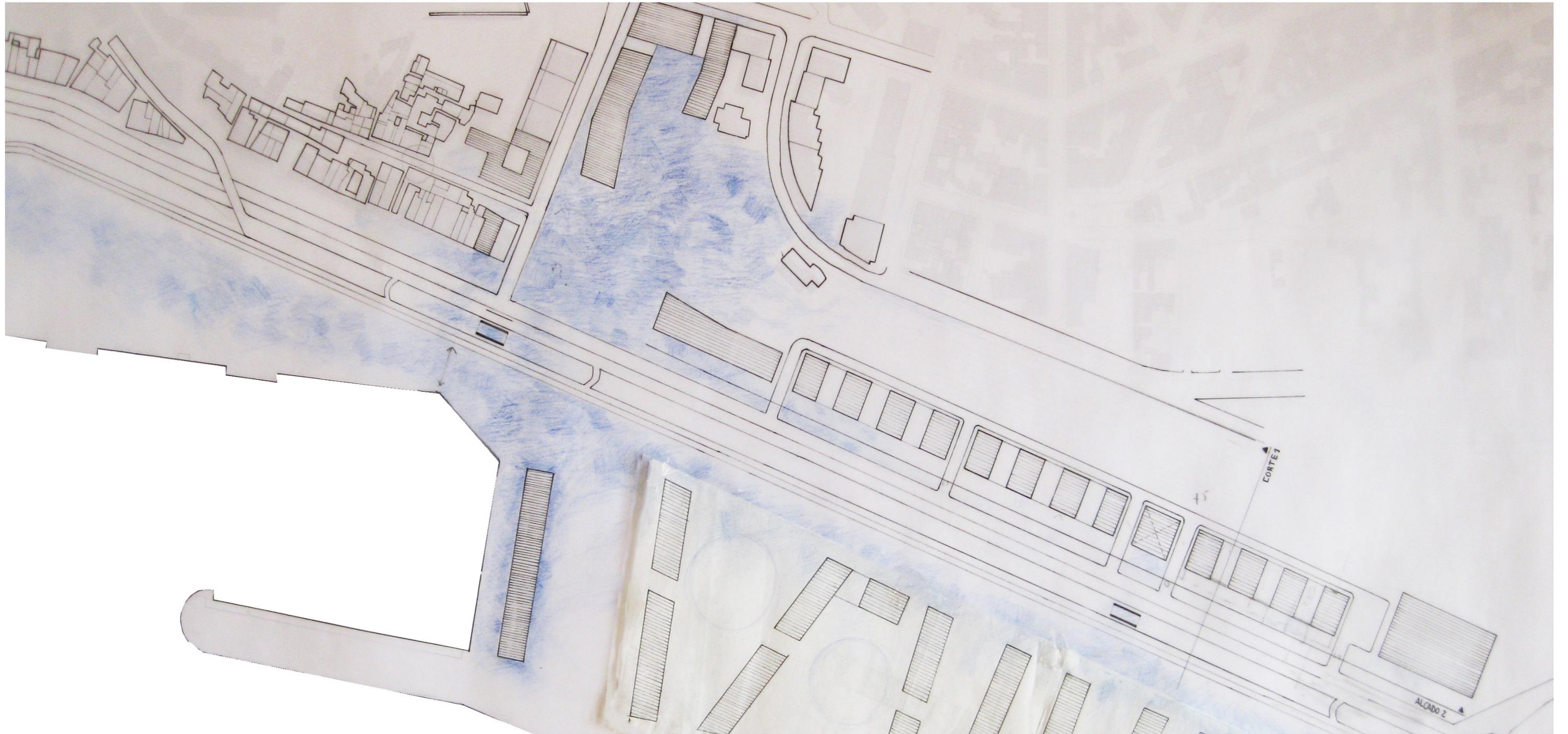
ALÇADO E CORTE DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO PROPOSTOS NO PLANO ESTRATÉGICO PARA A ESTRADA DA GRAÇA

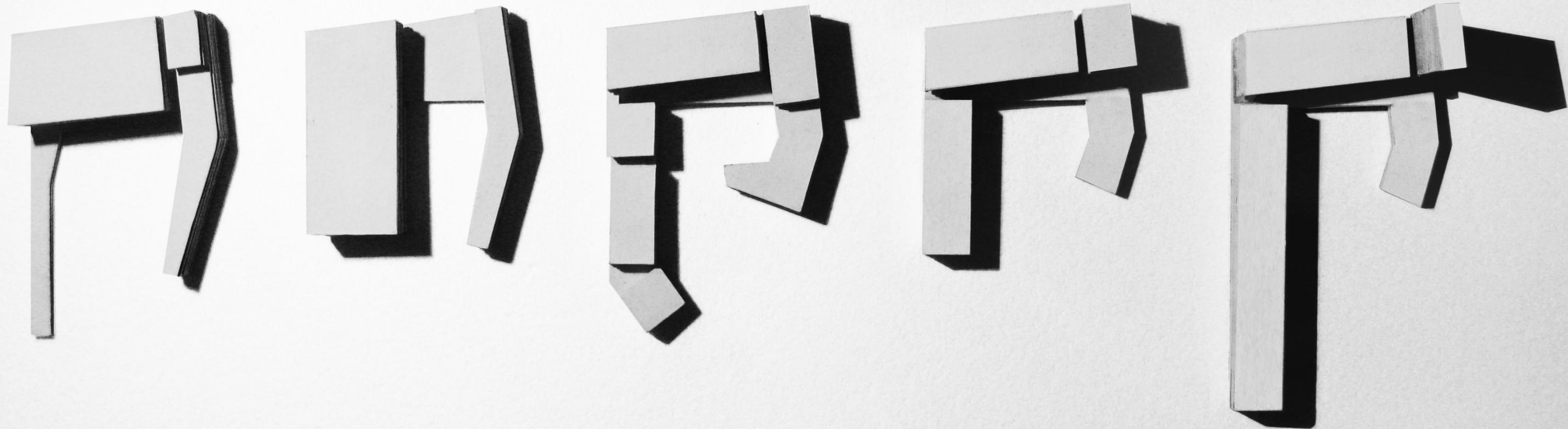
PLANO ESTRATÉGICO

Porque a arquitetura não tem de estar única e exclusivamente associada ao discurso do objeto isolado, definiu-se um plano estratégico que tivesse como matéria de reflexão as tensões territoriais entre edifício, cidade e sentido arquitetónico da paisagem.

Propõem-se assim as seguintes propostas, de acordo com o plano geral: extensão do cemitério, capela e centro paroquial no lado oposto da Rua Camilo Castelo Branco; edifício de apoio aos pescadores na Doca do Comércio; Habitação e Comércio no piso térreo (10m cota máx) nos dois lados da Estrada da Graça; Elevador de acesso à Avenida Belo Horizonte já enunciado na fase de grupo; Definição do novo esquema de circulação viário, pedonal e de tram-train.









PROGRAMA CULTURAL

O novo equipamento deverá assumir-se como uma peça de referência que marca inequivocamente o território não só pela sua condição formal mas também pelo seu possível papel de relevo como impulsionador de cultura na cidade.

Propõem-se assim para o novo espaço a eventual transferência de todo o espólio do Museu do Trabalho Michel Giacometti e do Museu de Arqueologia e Etnografia de Setúbal. Ambas estas coleções se encontram expostas em estruturas museológicas pouco atrativas aos visitantes e sem espaços de apoio adequados que permitam proceder a uma correta conservação das peças.

Sugere-se deste modo uma coleção reestruturada a partir destes dois espólios com o objetivo de criar um museu que possa narrar a história da cidade para que esta se inscreva na memória coletiva de todos os Setubalenses.



Small white plaque with illegible text on the wall.

Large graffiti tags in various colors (blue, white, black, yellow) covering the lower portion of the building's facade.

Small white utility box with illegible markings.





O LUGAR

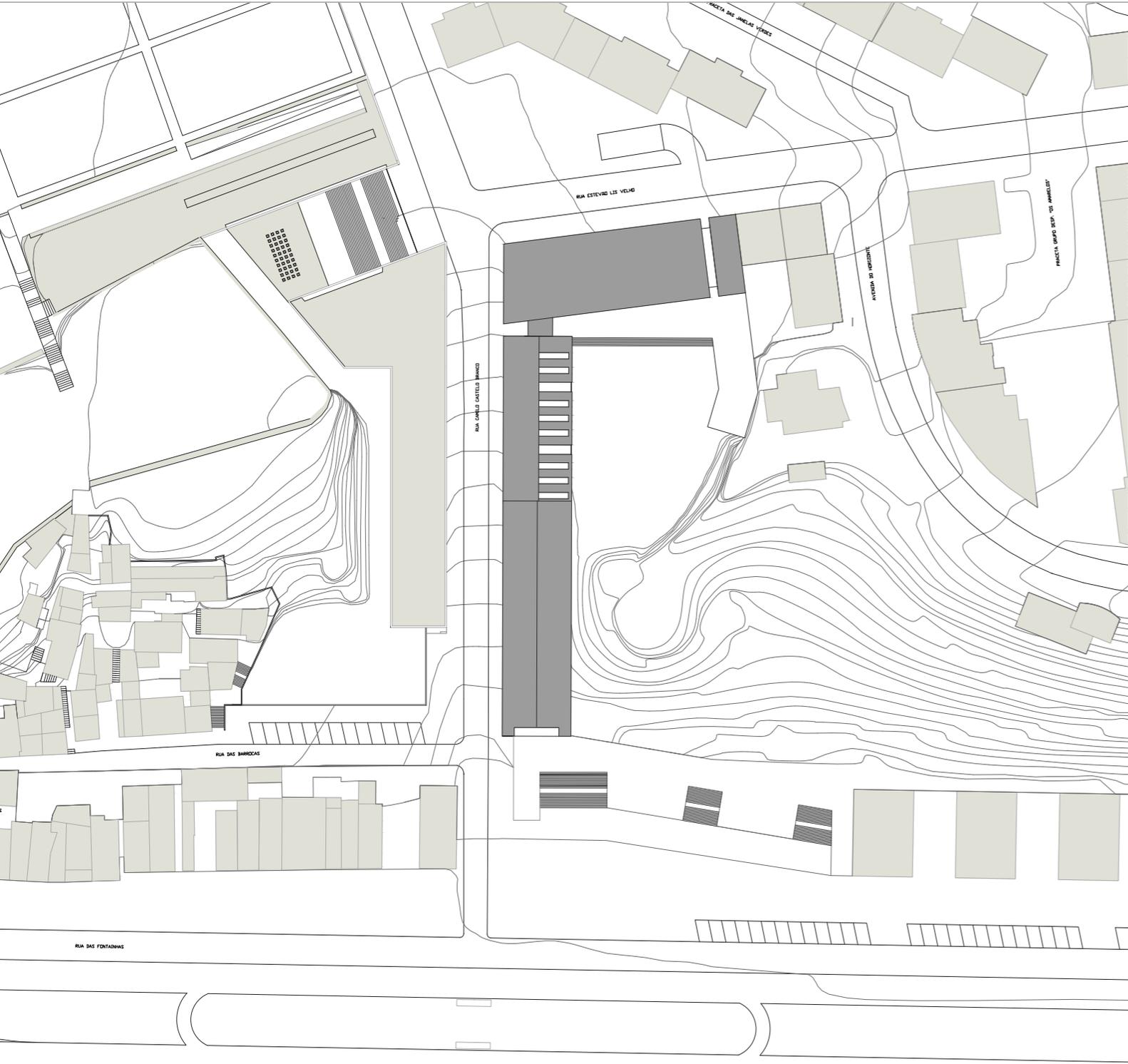
O lugar escolhido para o novo museu assume uma posição de espaço híbrido onde se reflete uma evidente separação entre cidade histórica e cidade de débil expansão urbana ainda muito problemática e desarticulada com o resto da cidade.

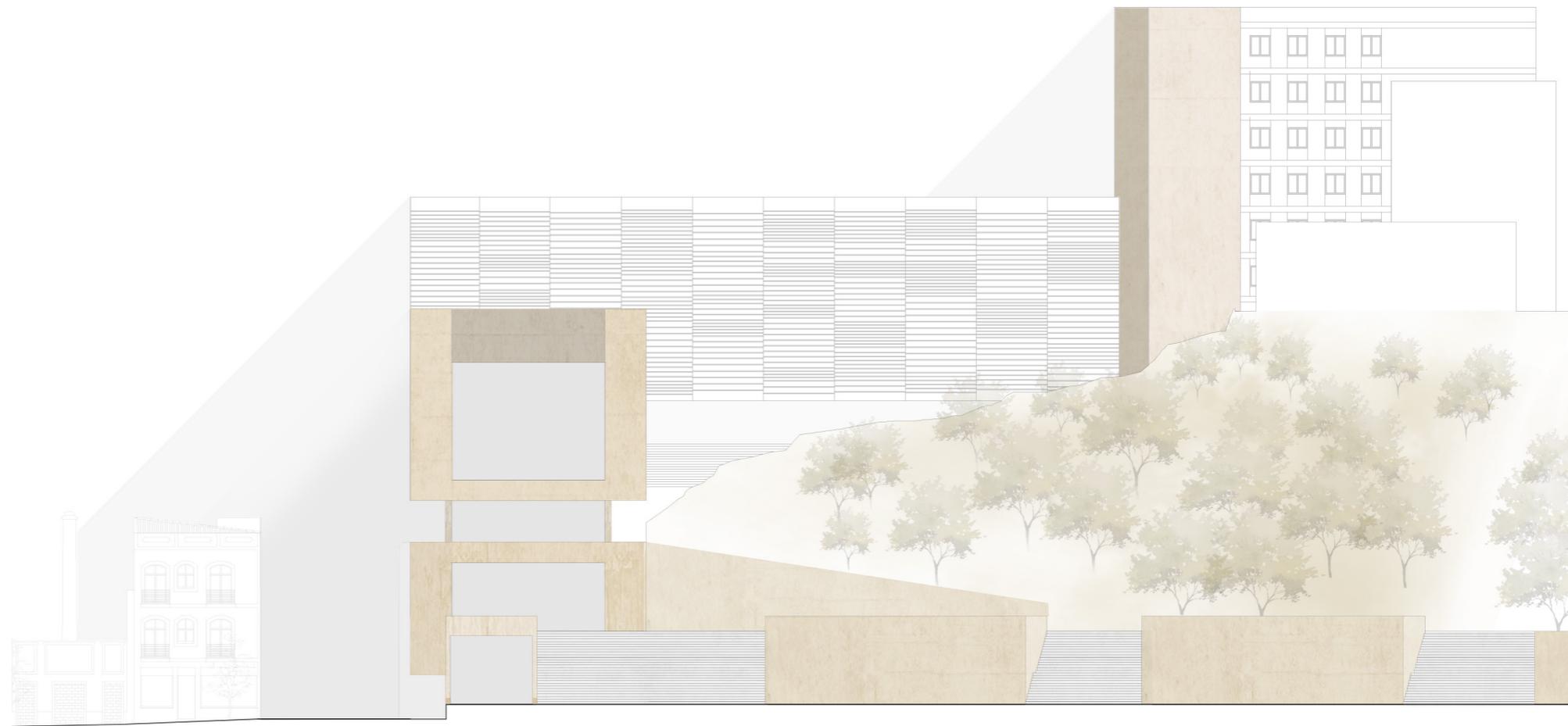
Do espaço das antigas unidades conserveiras do final da década de 30 do Século XX, ainda restam as ruínas das suas sólidas paredes que ali resistiram à ferocidade do tempo, envolvidas por um jardim relativamente qualificado cujas suas grandes particularidades assentam nas vistas que pode oferecer e na sua condição topográfica pouco comum. A circunstância que envolve estes dois elementos é caracterizada por um bairro pouco coeso do ponto de vista urbano, onde a criação deste equipamento contemporâneo pode constituir um novo ponto de referência.

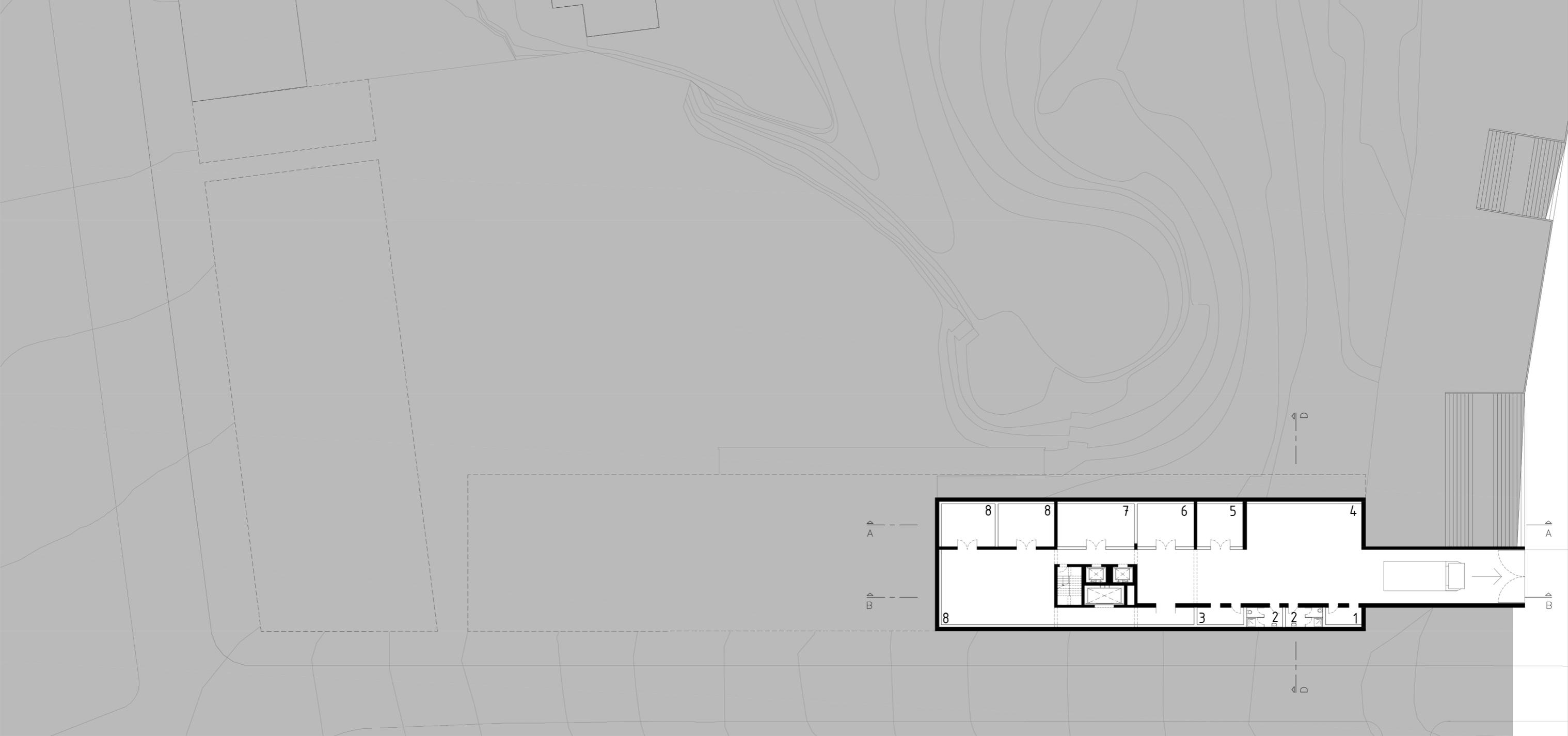
Ao mesmo tempo que assume a sua presença afirmativa, o edifício procura relacionar-se cuidadosamente com a sua envolvente urbana próxima e por isso opta-se por propor o novo equipamento sem sair do limite das antigas fábricas, permitindo que a construção nova não toque no jardim mas sim envolvendo-o, dotando-o de uma nova permeabilidade e propondo a sua expansão para norte.

O jardim torna-se assim num generoso espaço público que se assume como o principal foco da vida quotidiana do novo espaço, capaz de acolher as mais distintas atividades. Para que o novo conjunto museológico se apresente mais relacionado com a escala urbana do local e para que seja possível ter uma leitura imediata da sua distribuição funcional a partir do exterior, optou-se por criar três volumes separados entre si mas interligados interiormente.



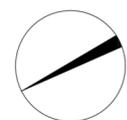




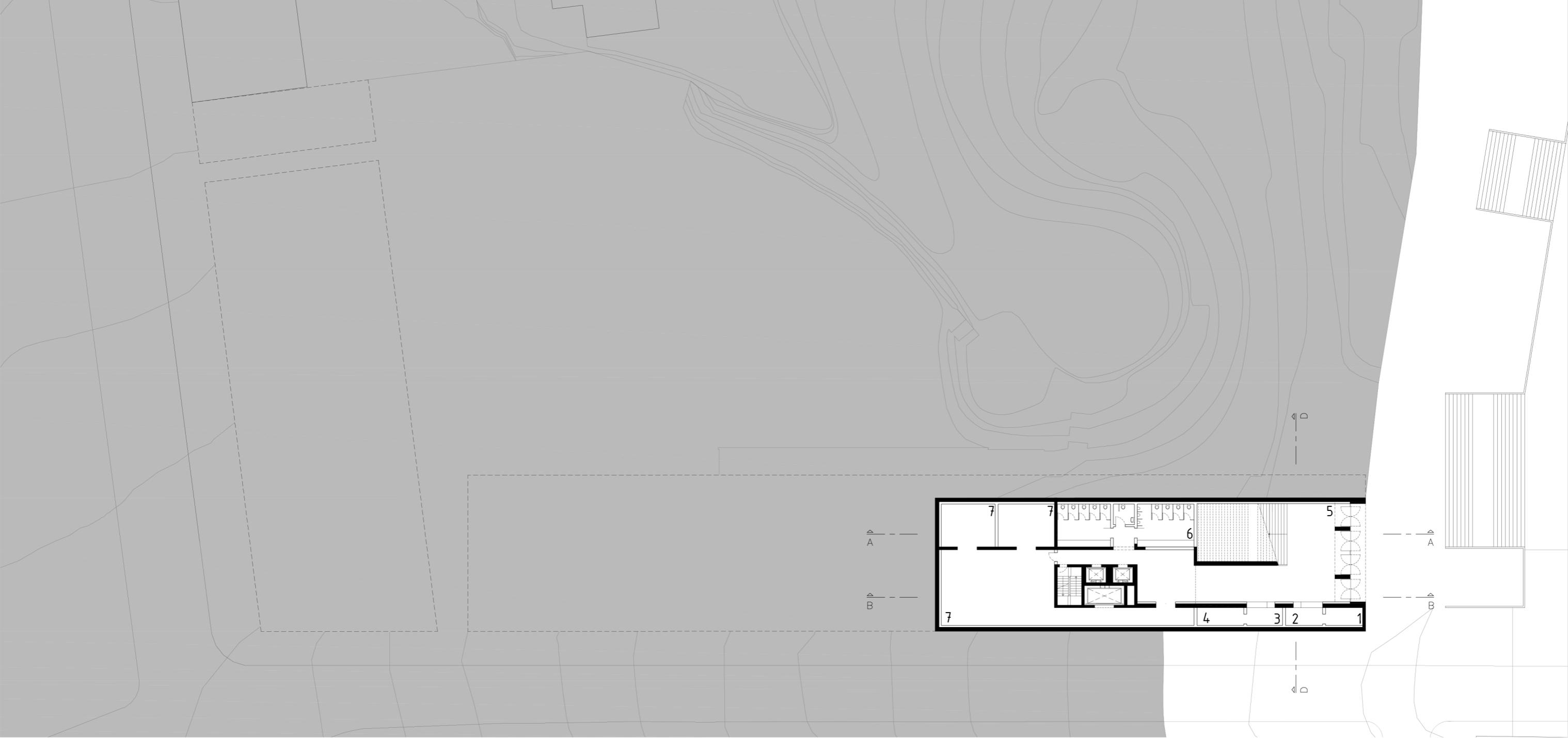


PLANTA PISO 0

1 - Gabinete de Controlo e Segurança | 2 - Instalações Sanitárias | 3 - Receção / Expedição | 4 - Cais Cargas e Descargas
 5 - Oficina | 6 - Sala de expurgo | 7 - Sala de Conservação e Restauro | 8 - Depósito de Peças do Museu

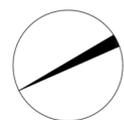


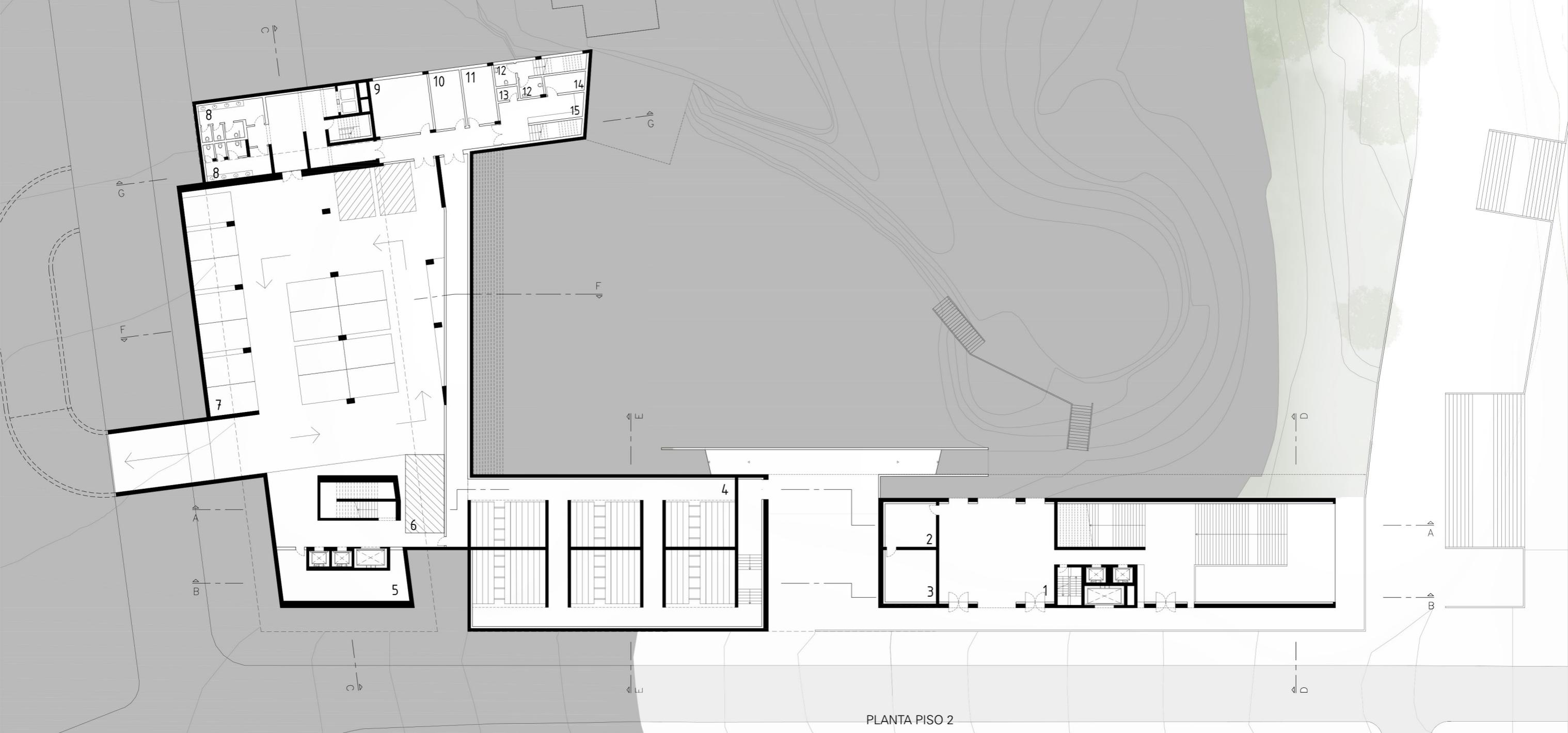
0 2 10 20



PLANTA PISO 1

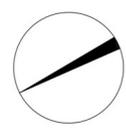
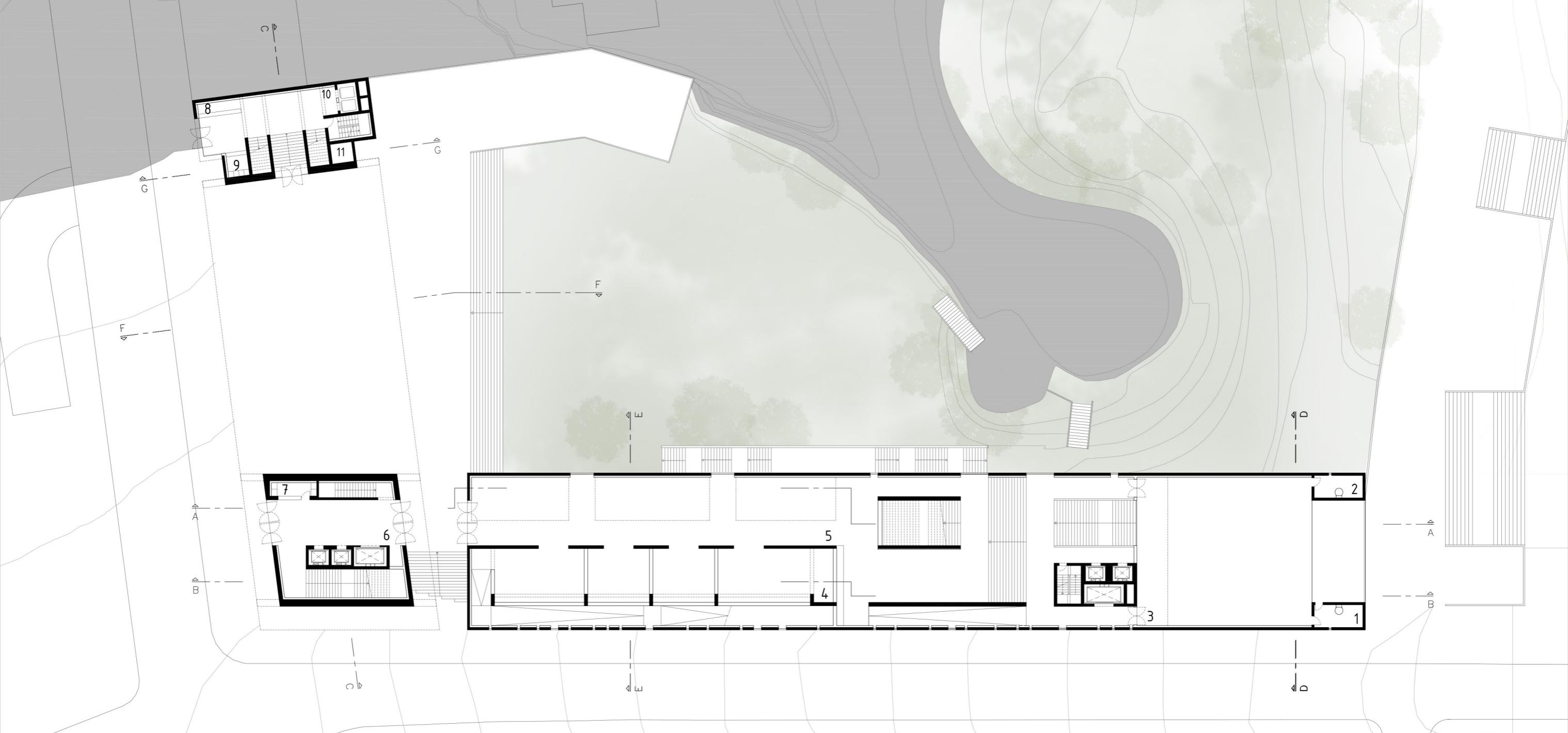
- 1 - Arrumos | 2 - Balcão de Venda de Bilhetes | 3 - Bengaleiro | 4 - Arrumos Bengaleiro | 5 - Átrio | 6 - Instalações Sanitárias
 7 - Depósito de Peças





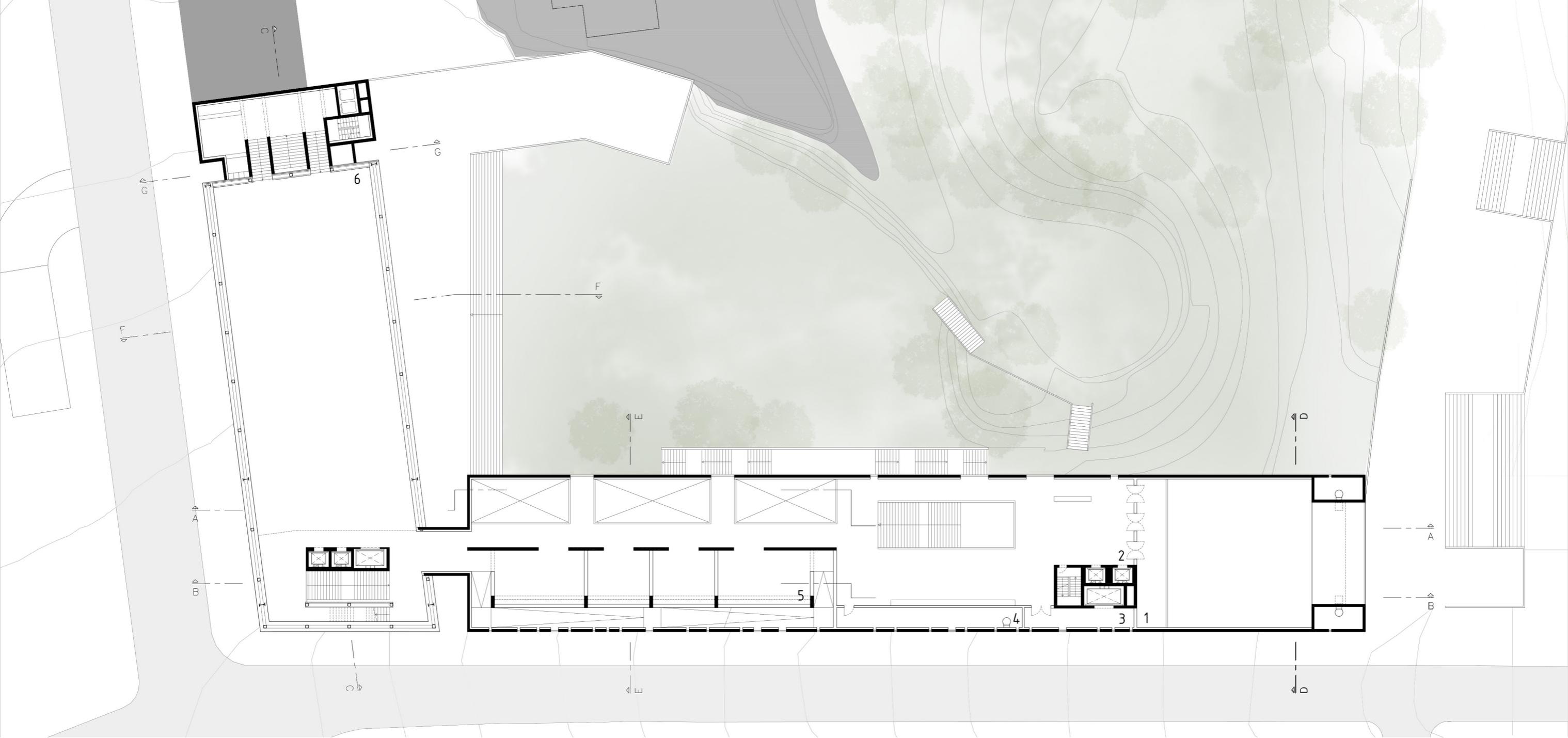
PLANTA PISO 2

1 - Loja | 2 - Gabinete loja | 3 - Armazém loja | 4 - Depósito de Peças do Centro de Documentação | 5 - Arrumos | 6 - Cais para cargas e descargas | 7 - Estacionamento privado | 8 - Instalações Sanitárias | 9 - Oficina do Centro de Documentação | 10 - Sala de Conservação e Restauro | 11 - Sala de Expurgo do Centro de Documentação | 12 - Instalações Sanitárias | 13 Depósito de Resíduos da Cafeteria | 14 - Despensa de frios da Cafeteria | 15 - Cozinha da Cafeteria



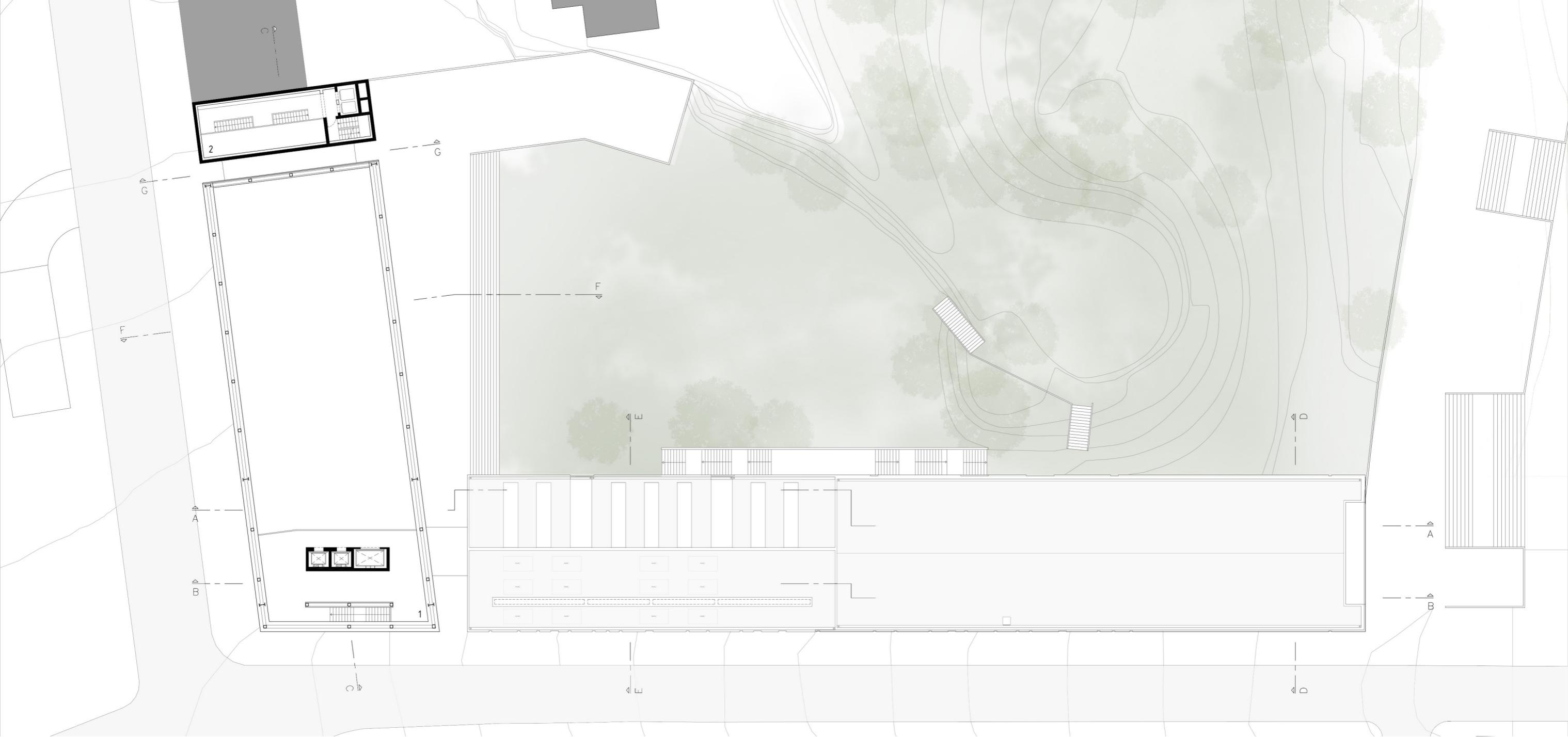
PLANTA PISO 3

- 1 - Acesso técnico à sala de avacs | 2 - Arrumos | 3 - Sala Polivalente | 4 - Salas de Exposições | 5 - Corredor de Exposições
- 6 - Átrio | 7 - Balcão de Informações | 8 - Balcão de Venda de Bilhetes | 9 - Bengaleiro | 10 - Átrio | 11 - Arrumos



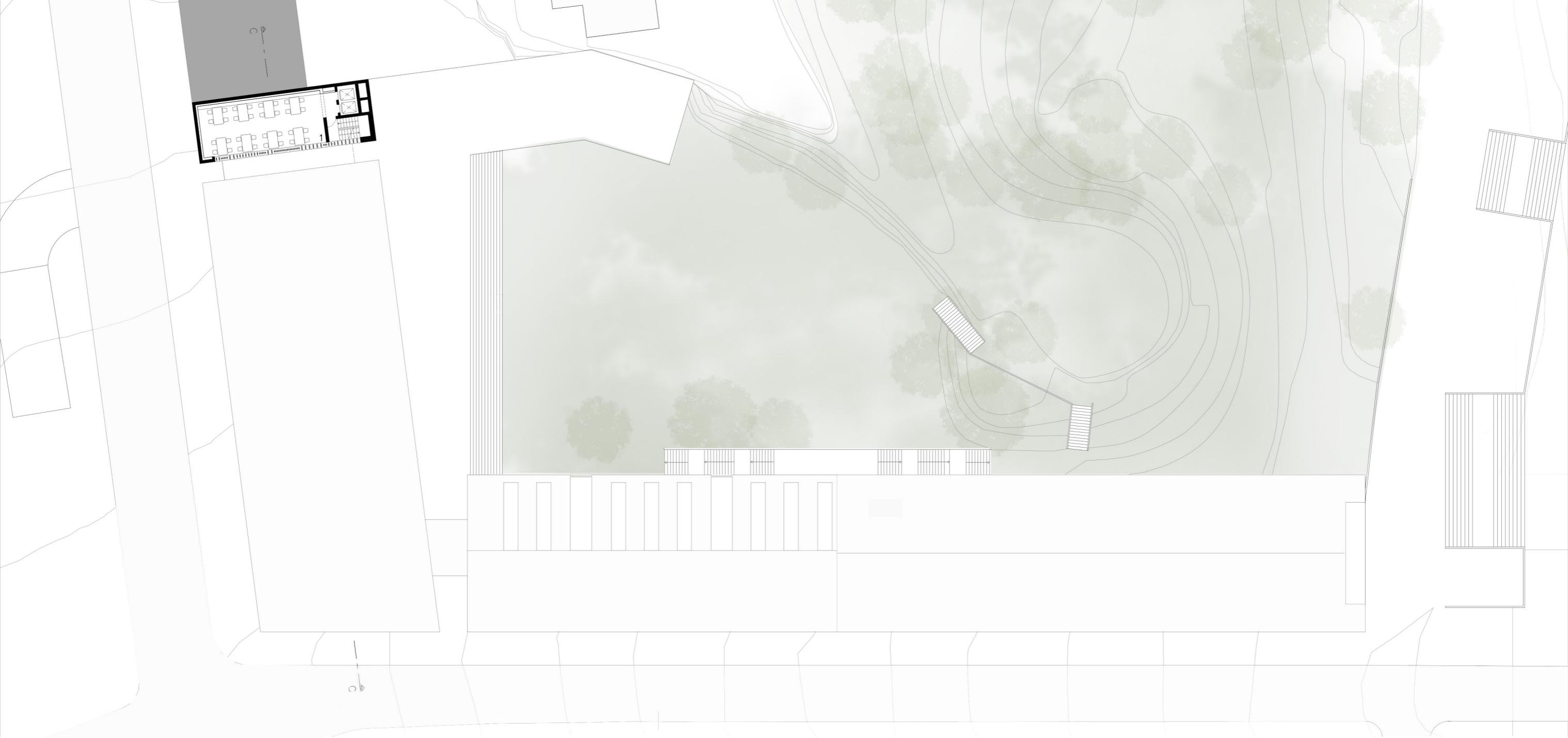
PLANTA PISO 4

1 - Balcão Sala Polivalente | 2 - Foyer | 3 - Acesso ao monta-cargas | 4 - Arrumos e acesso técnico à cobertura | 5 - Salas de exposições | 6 - Grande Nave de Exposições



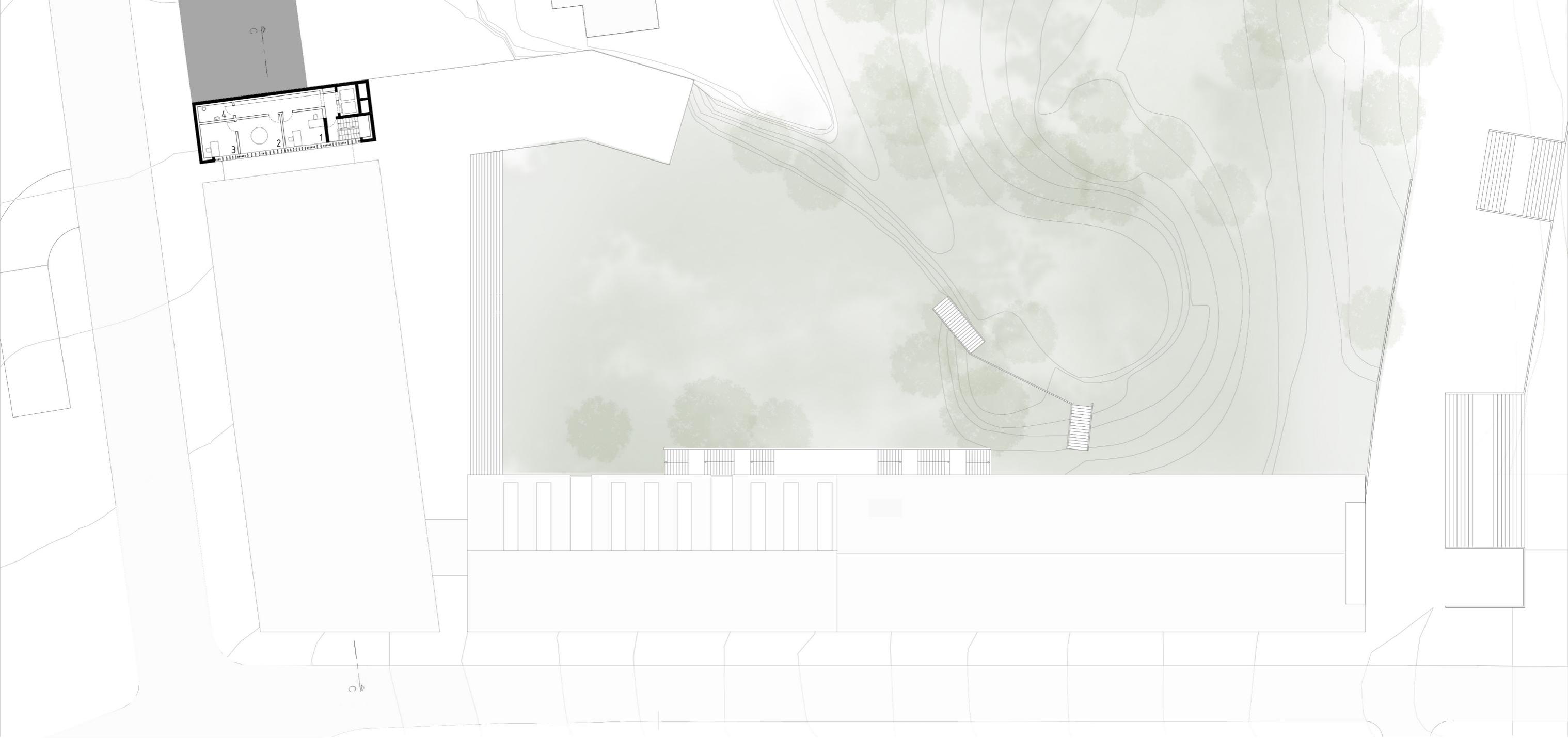
PLANTA PISO 5

1 - Sala Superior Grande Nave de Exposições | 2 - Biblioteca do Centro de Documentação



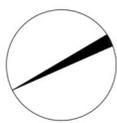
PLANTA PISO 6 - 9

1 - Gabinetes Técnicos (Registo, Conservação e Design das Exposições)



PLANTA PISO 10

1 - Gabinete Administrativo | 2 - Gabinete Administrativo | 3 - Sala Reuniões | 4 - Instalação Sanitária

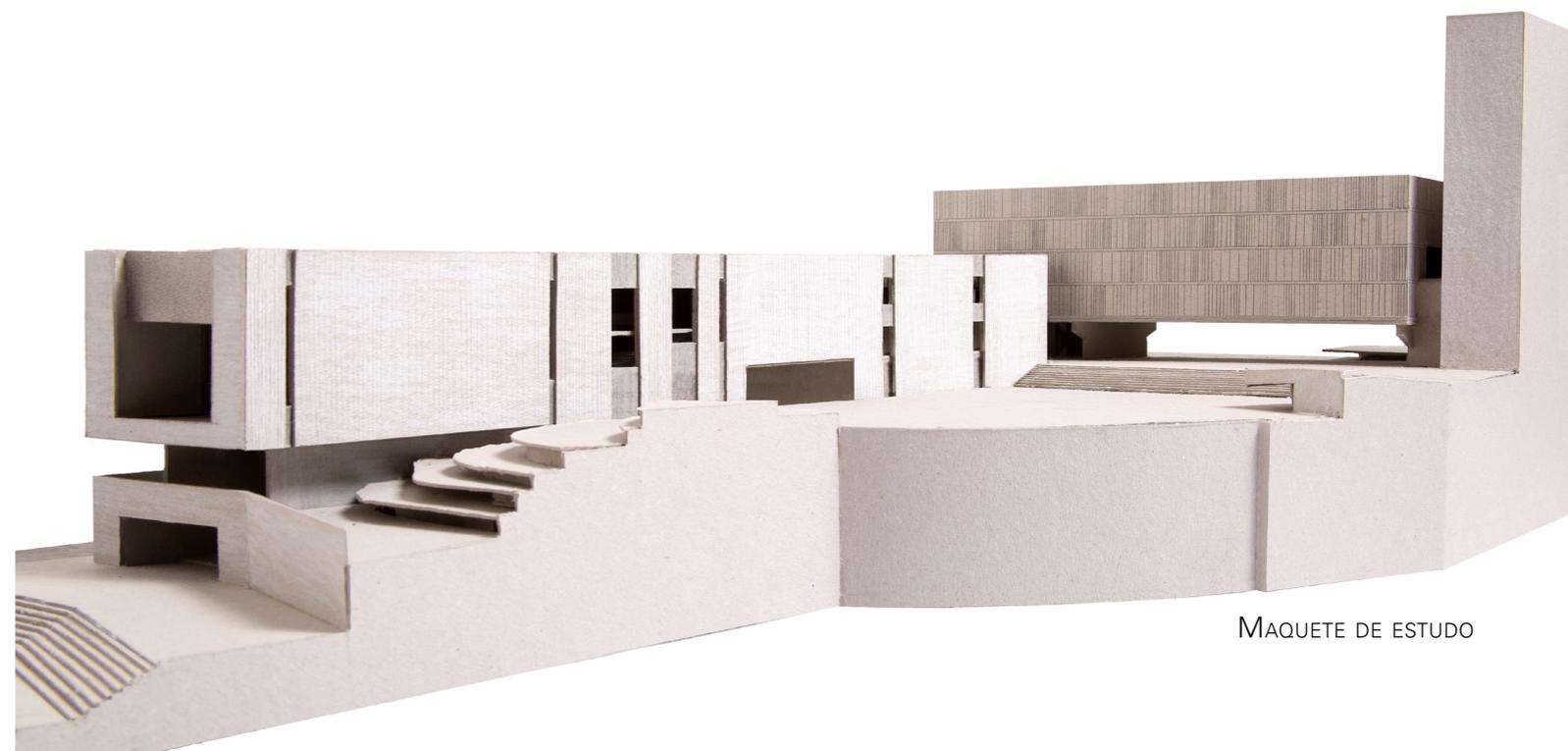


0 2 10 20

O CORPO DAS EXPOSIÇÕES PERMANENTES

O volume a poente acompanha a Rua Camilo Castelo Branco e materializa-se como um comprido corpo de carácter perene que alberga as exposições permanentes, um espaço polivalente, os arquivos do Centro de Documentação, das Reservas Documentais e do espólio de Arqueologia e Etnografia.

O novo museu pretende, para além de transformar o território pela mera construção física, criar um verdadeiro sistema de relações e percursos. Este comprido volume segue este propósito e consolida a ligação entre rua e jardim, ao criar uma passagem que para além de atenuar a barreira física entre este eixo e o espaço público, atenua a barreira visual presente pelo forte sentido longitudinal do corpo construído. Esta permeabilidade é também reforçada através de uma galeria que surge desta passagem até ao extremo do edifício, ligando à mesma cota a parte Sul do Jardim. O edifício estabelece também uma relação de cumplicidade com o espaço verde através dos seus generosos rasgos verticais, muito mais do que com a rua Camilo Castelo Branco. Apesar de se considerar o jardim o elemento verdadeiramente charneira de todo o conjunto, não se poderia de forma alguma impossibilitar a relação visual entre os visitantes e a sua urbe, relação essa muito importante para o visitante desenvolver o seu espírito crítico sobre a cidade que tem ou deveria ter.



MAQUETE DE ESTUDO



ALÇADO POENTE

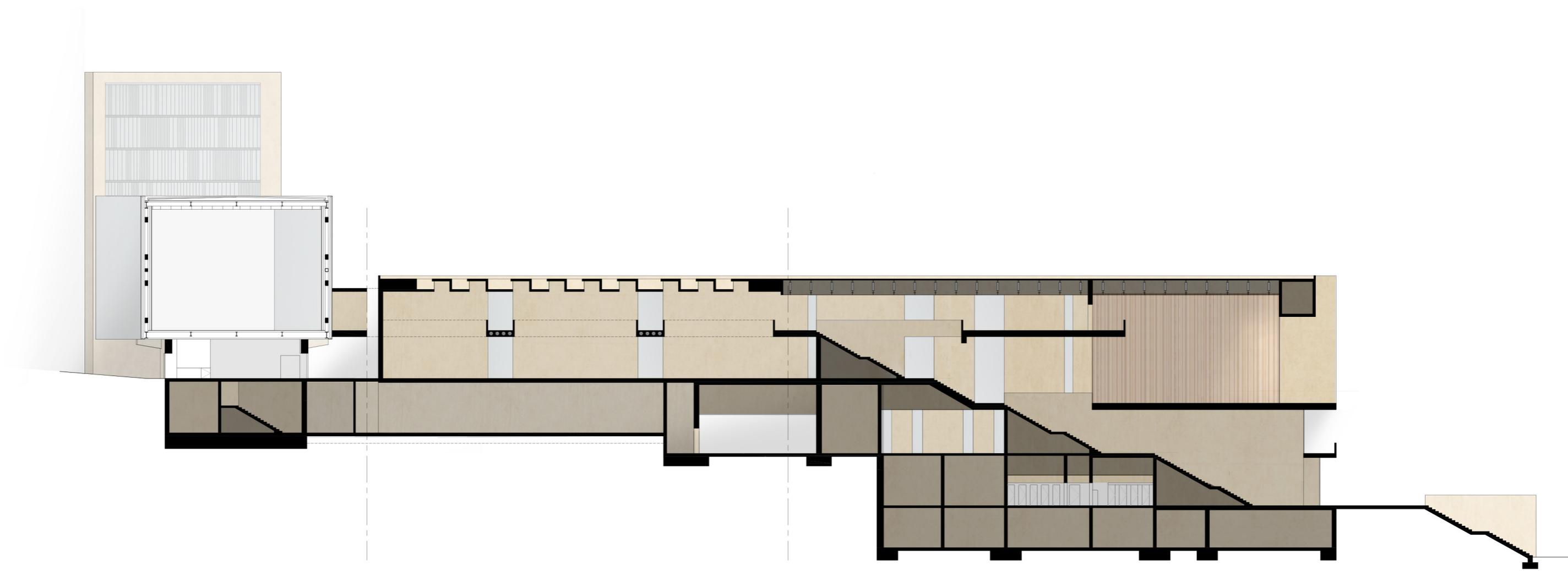


Interiormente assume-se como um verdadeiro museu-percurso de circulações amplas e fluidas na sua totalidade. Uma generosa escadaria percorre parte do edifício vencendo a cota da Rua Camilo Castelo Branco e servindo as várias valências do museu. A dimensão da escadaria e a forma como esta é tomada como protagonista no projeto têm justamente origem nesta necessidade de se trabalhar com um terreno muito acidentado.

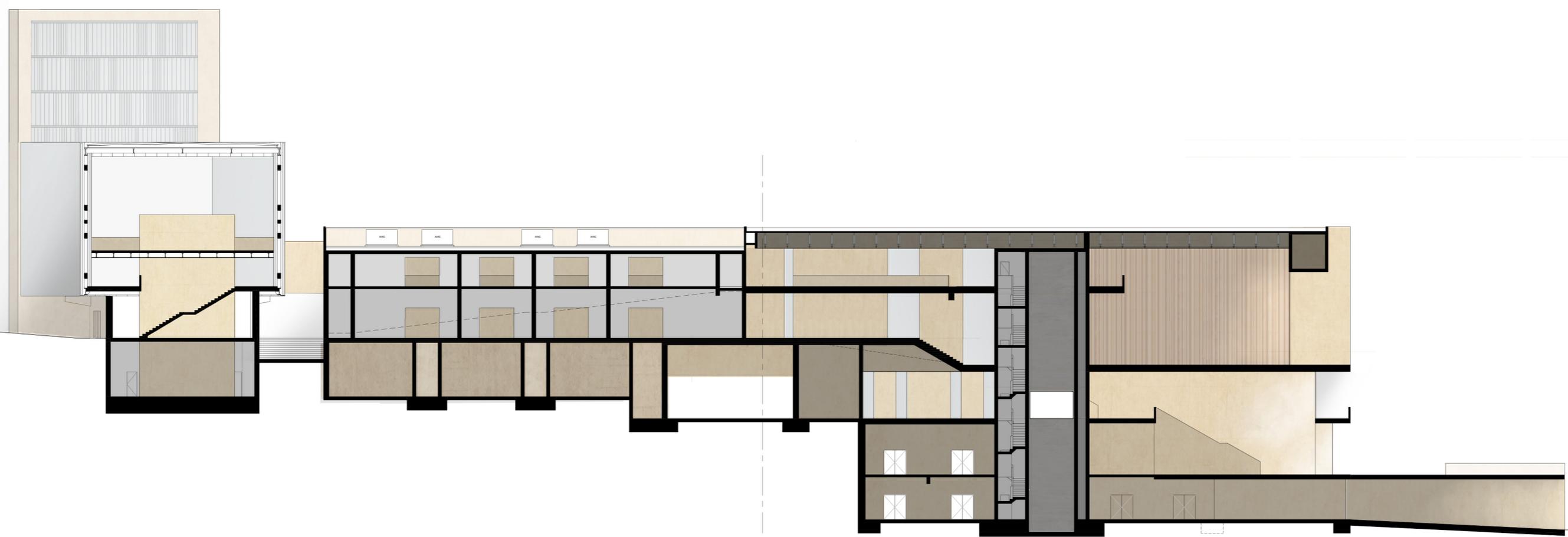
Uma das valências deste corpo é o espaço polivalente, que permite uma grande flexibilidade de usos, com espaço para cerca de 220 expectadores sentados, 270m² de área e mais de 9 metros de pé-direito. Aqui, o grande vão orientado a Sul oferece uma vista admirável sobre o estuário, quer a partir da sala polivalente ou descendo a escadaria do museu. Um amplo envidraçado entre os dois espaços permitiu que, uma sala que à partida seria reservada a eventos periódicos, se transformasse num espaço atravessável pelo olhar. Esta poderá ser aberta também como espaço de exposição caso exista, eventualmente, essa necessidade.

Subindo um pouco mais a escadaria encontramos salas de carácter mais intimista, de pé-direito reduzido para coleções de menor porte sendo que as do piso inferior poderão vir a ser salas exclusivamente interativas por receberem menor intensidade de luz.

Entre as salas e o jardim percorre um largo espaço de circulação com duplo pé-direito que pode igualmente ser utilizado como espaço de exposição. Por cima deste espaço duas passagens ligam as salas do piso superior aos envidraçados da fachada, permitindo que o visitante tenha uma leitura do espaço verde a partir de um ponto mais elevado. A luz é captada não só pelos envidraçados da fachada mas também pelas aberturas na cobertura, filtrando a luz de forma suave sublinhando a textura do betão.



CORTE A

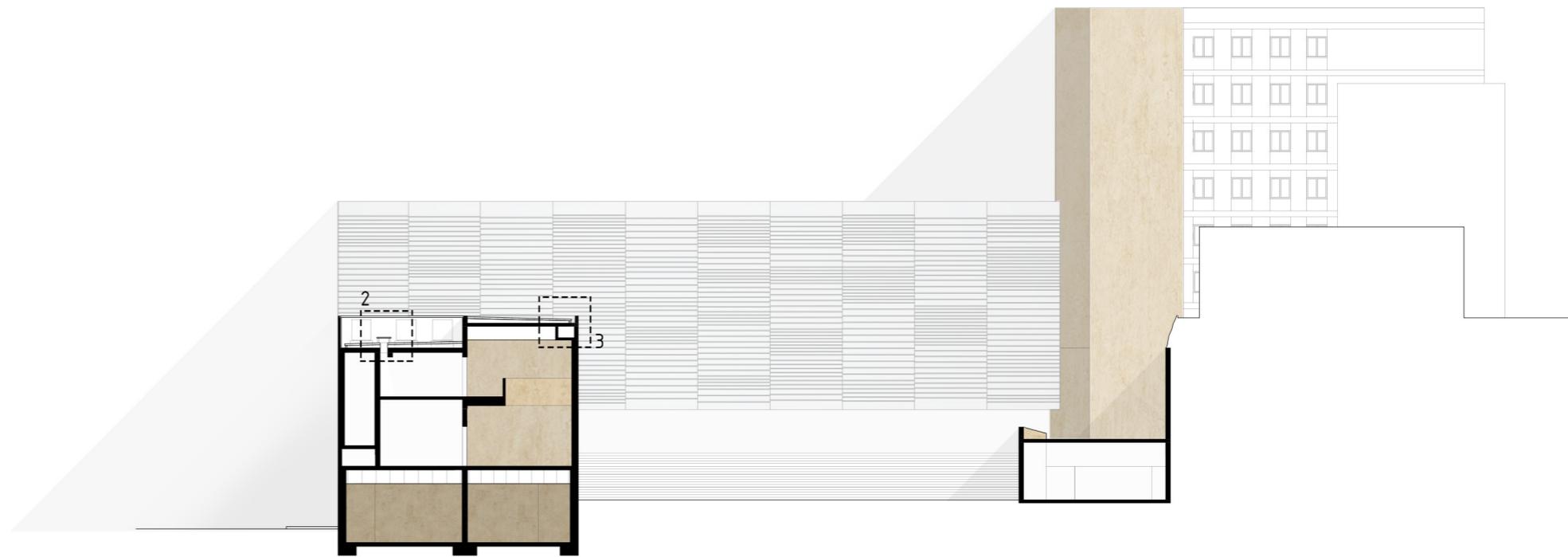


CORTE B





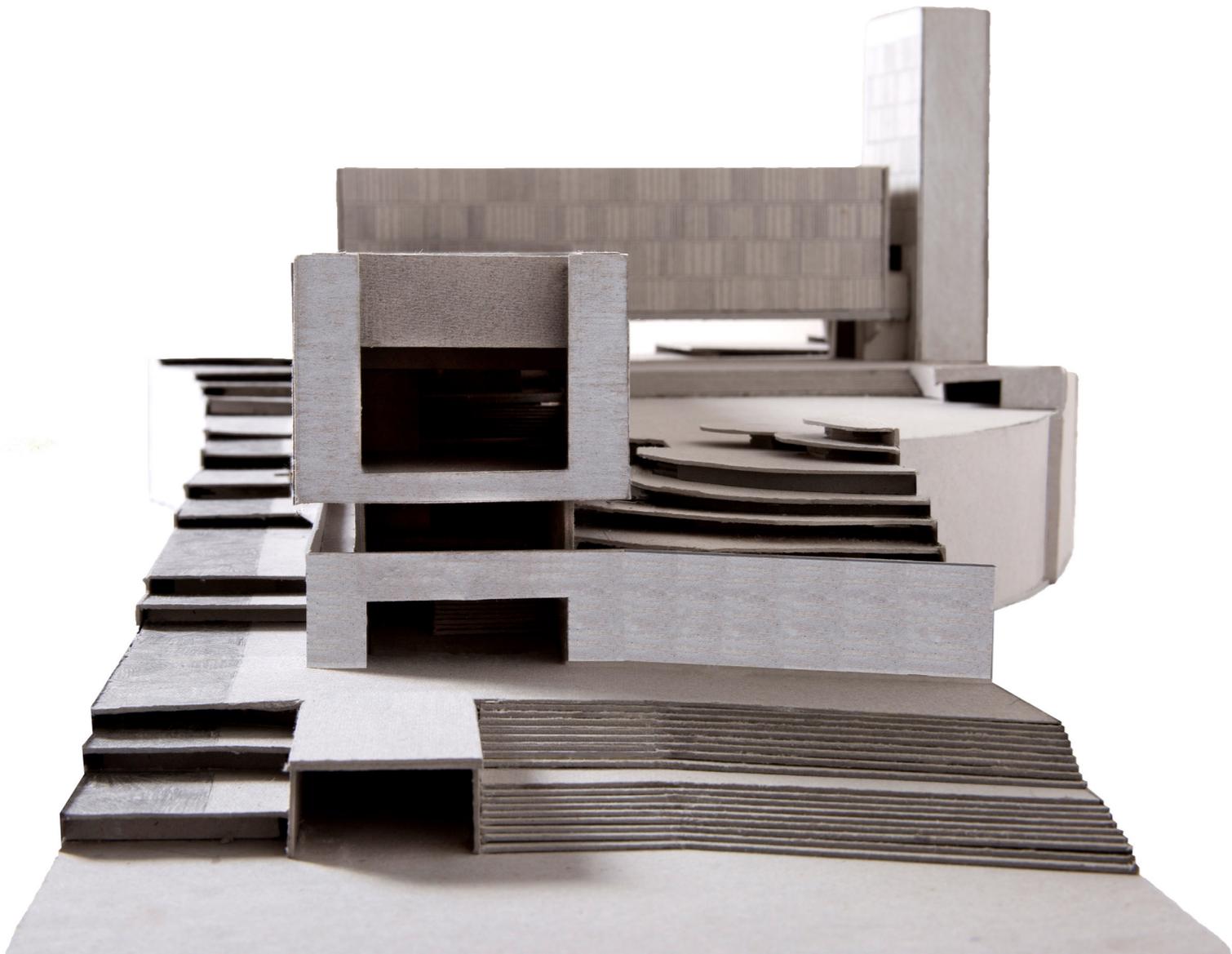
CORTE E

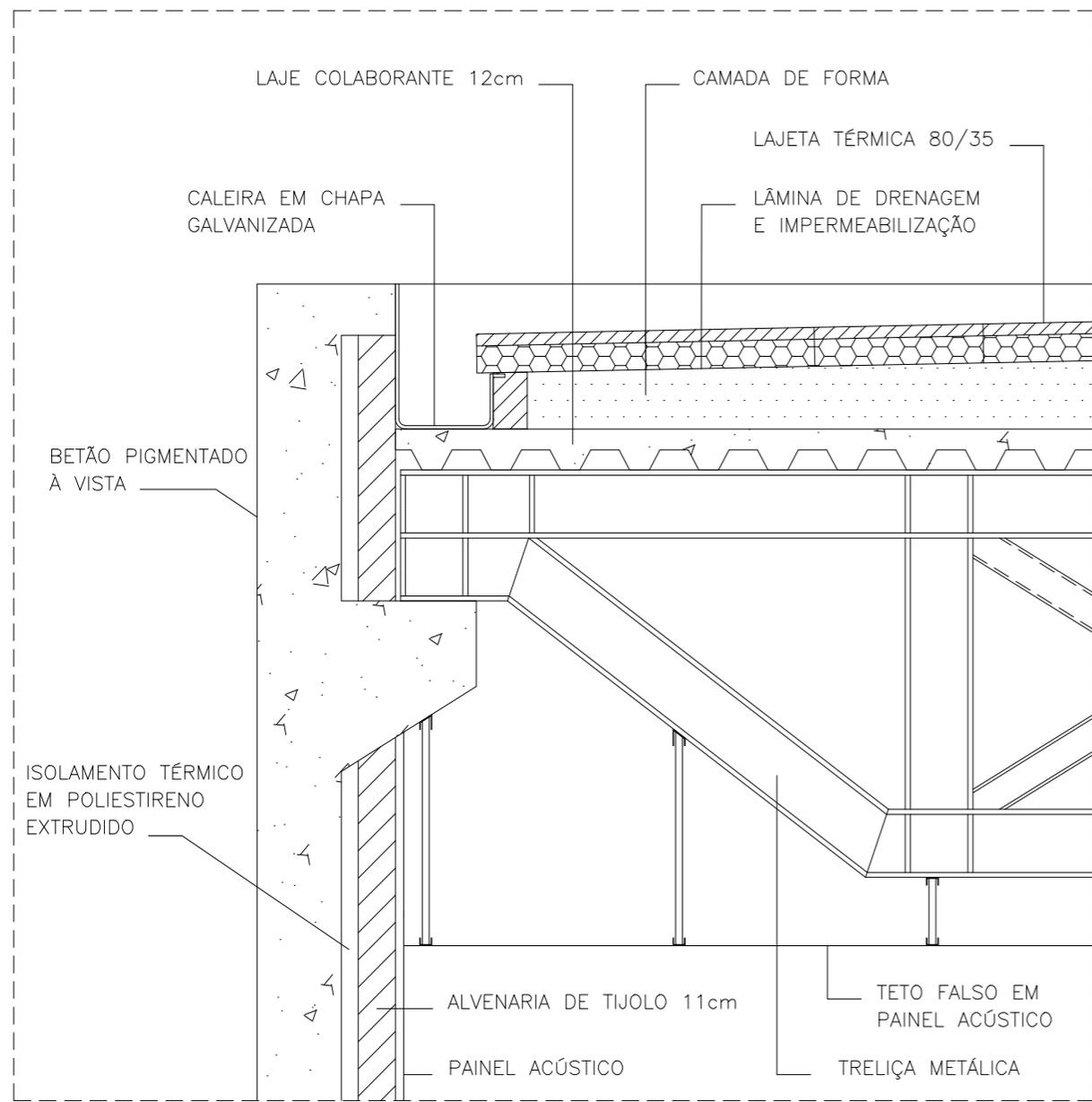




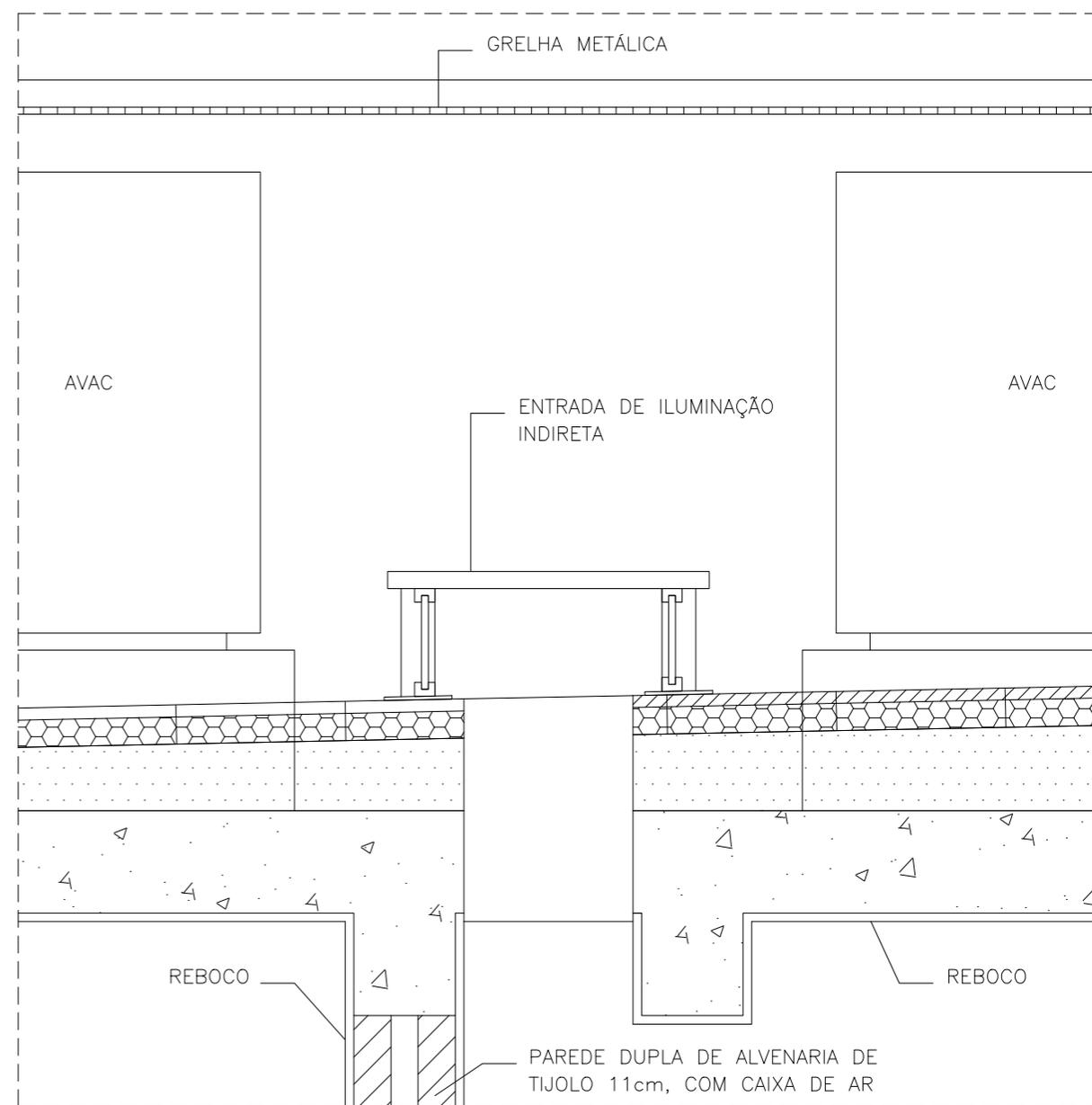




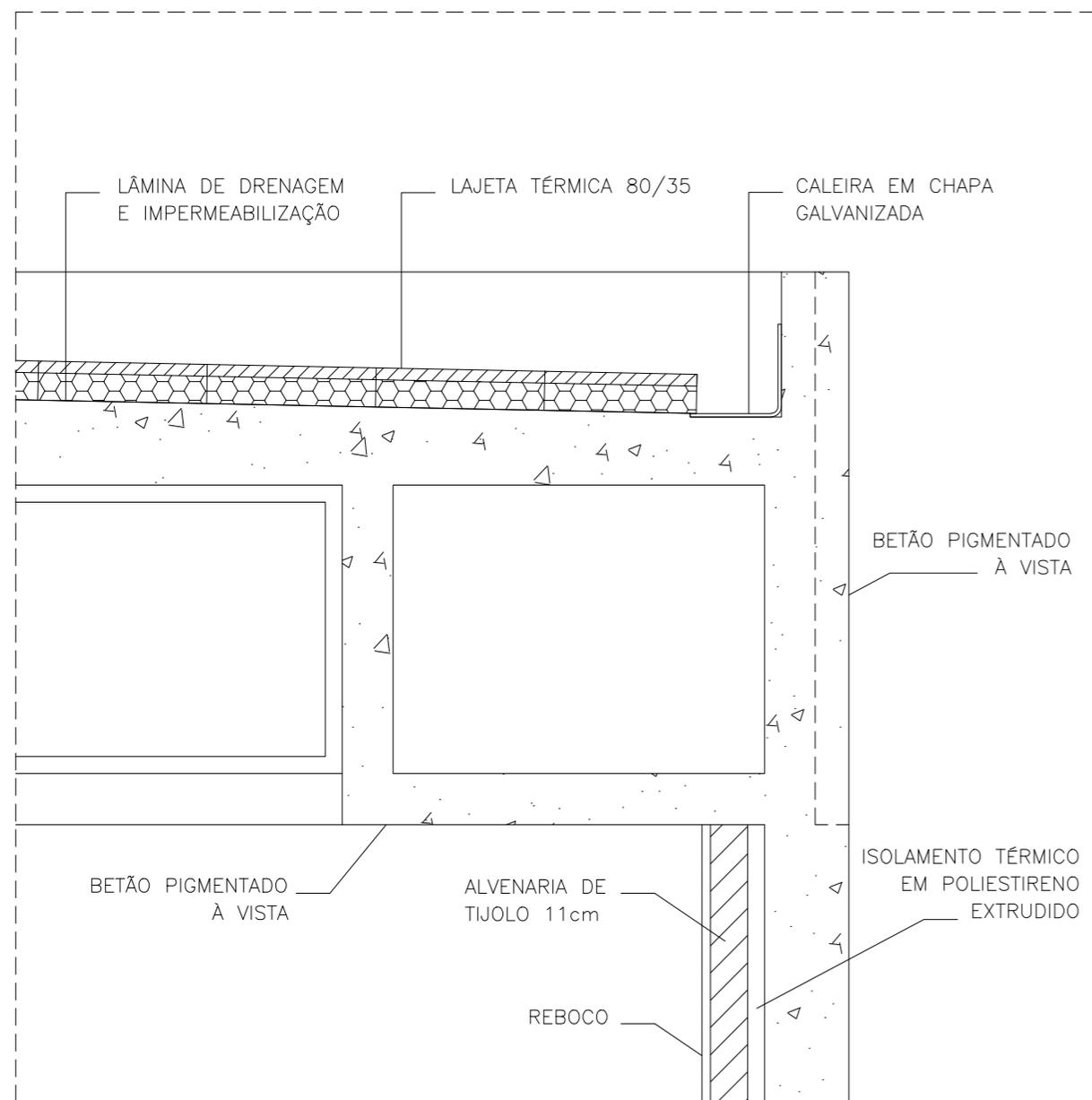




PORMENOR 1



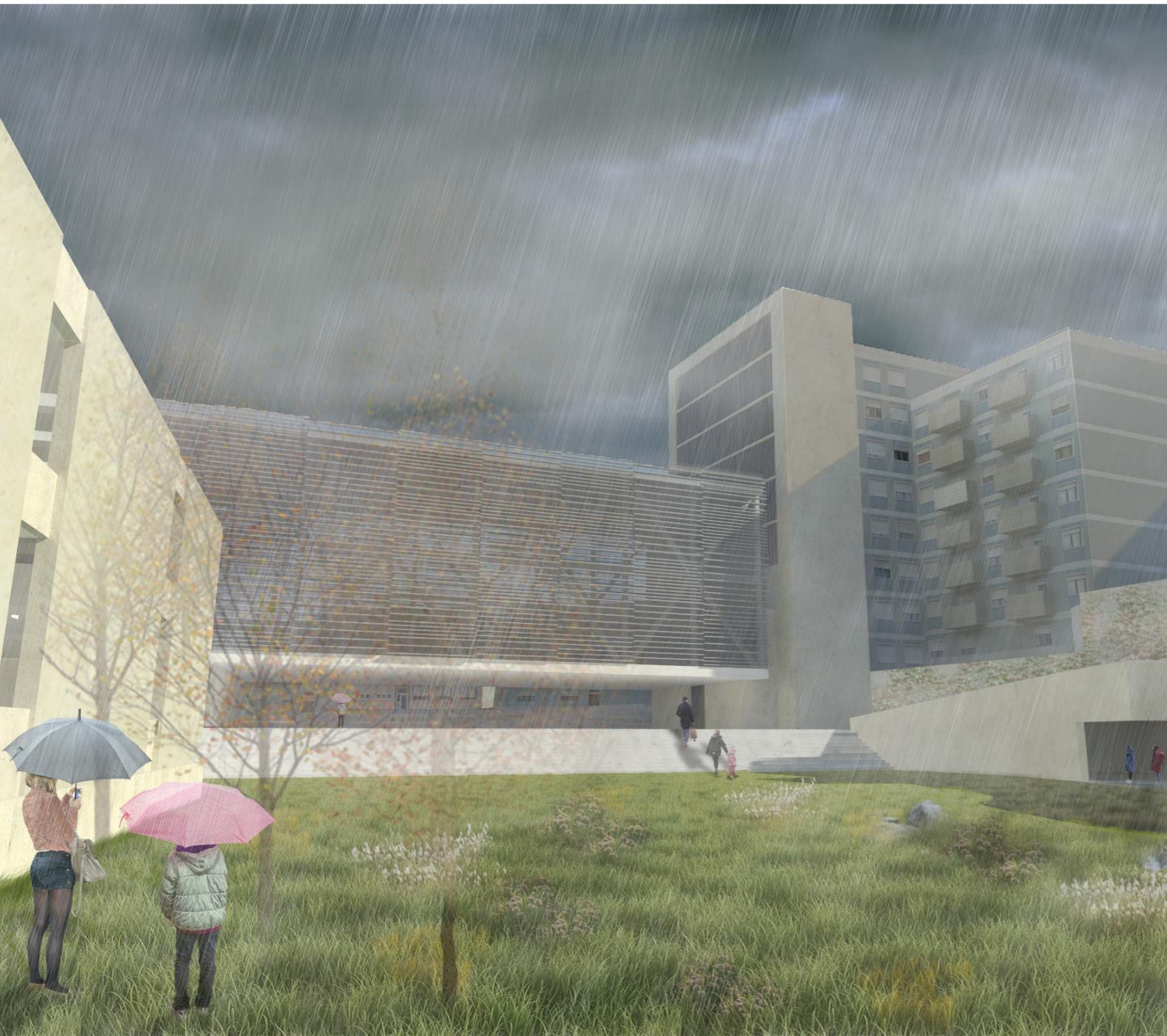
PORMENOR 2



PORMENOR 3

A estrutura do edifício poente é constituída por lajes, vigas e paredes de betão armado. Apesar da maioria dos vãos terem sido vencidos sem grande dificuldade, alguns casos mais complexos necessitam de soluções específicas. Um desses casos diz respeito à interrupção vertical das paredes de suporte da fachada, correspondentes aos pisos superiores, que não dão continuidade estrutural ao nível do piso 2. A este nível, as paredes consideradas estruturais estão recuadas paralelamente 2,45 metros em relação à fachada a nível superior. Por este motivo, o piso de transição é constituído por uma laje de espessura significativa (0,60 metros), apoiada nas referidas paredes recuadas, funcionando as suas extremidades em consola e recebendo as cargas das paredes superiores. Os pisos enterrados são delimitados por paredes de contenção de terras de betão armado.

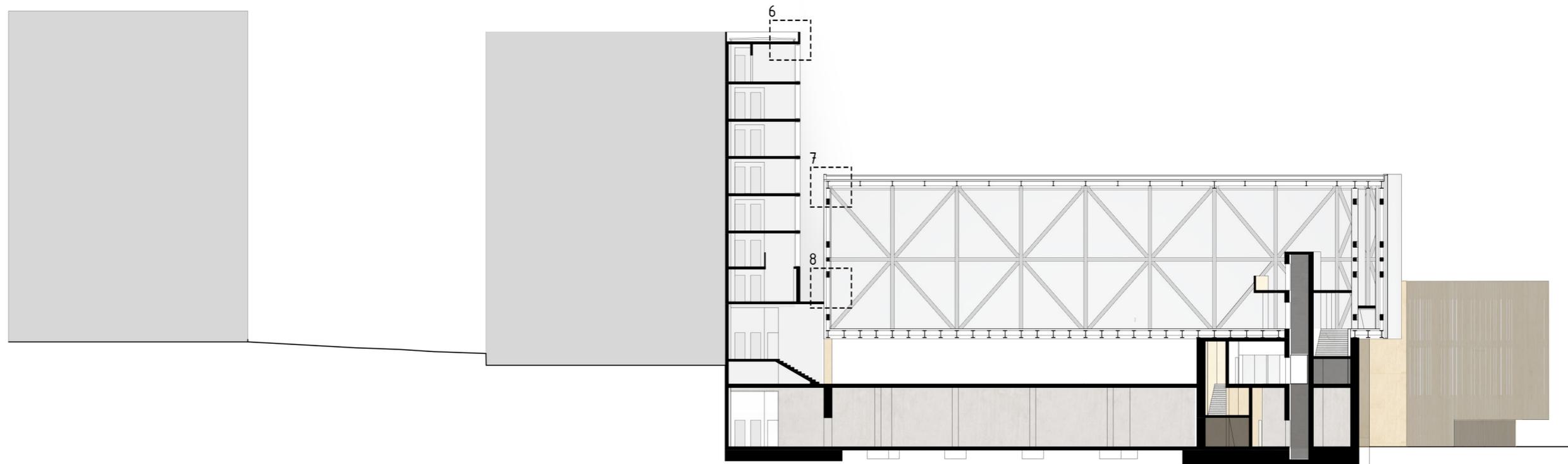
Para a cobertura preconizam-se duas soluções estruturais distintas em função do comprimento dos vãos a vencer. Nas áreas da cobertura em que os vãos a vencer são de pequena ou média dimensão, no lado norte do edifício, seguiu-se a solução corrente de lajes e vigas de betão armado. Nas áreas da cobertura do lado sul, em que os vãos a vencer são de dimensão significativa, correspondendo total ou quase totalmente à largura do edifício, optou-se por uma solução aligeirada de laje colaborante apoiada em treliças metálicas que, por sua vez, apoiam em cachorros nas paredes estruturais das fachadas.



A GRANDE NAVE DE EXPOSIÇÕES

A Norte ergue-se uma grande nave para exposições temporárias, vazada no seu piso térreo de forma a introduzir o jardim a partir da Rua Liz Estevão Velho. Desta forma garante-se a permeabilidade e ao mesmo tempo a contenção necessária, que sempre fez parte da qualidade espacial deste espaço público.

O grande volume assume-se fundamentalmente como uma grande casca de metal e vidro que permite a máxima flexibilidade programática como espaço de exposições ou eventos. Encontra-se aqui uma arquitetura que já não se assume como a arquitetura do domínio da luz sólida como nos restantes corpos do museu mas o da transparência, refletindo-se exteriormente através de uma materialidade leve que contrasta com a robustez do betão. A própria base onde se encontram situados os acessos à grande sala recuam de forma a reforçar esta ideia de leveza onde a verdadeira protagonista é ela mesma e não a base que a suporta. No interior da sala as superfícies envidraçadas conferem uma permeabilidade de vistas entre o interior e o exterior, reforçando a relação já diversas vezes assinalada que se pretende entre museu e jardim.



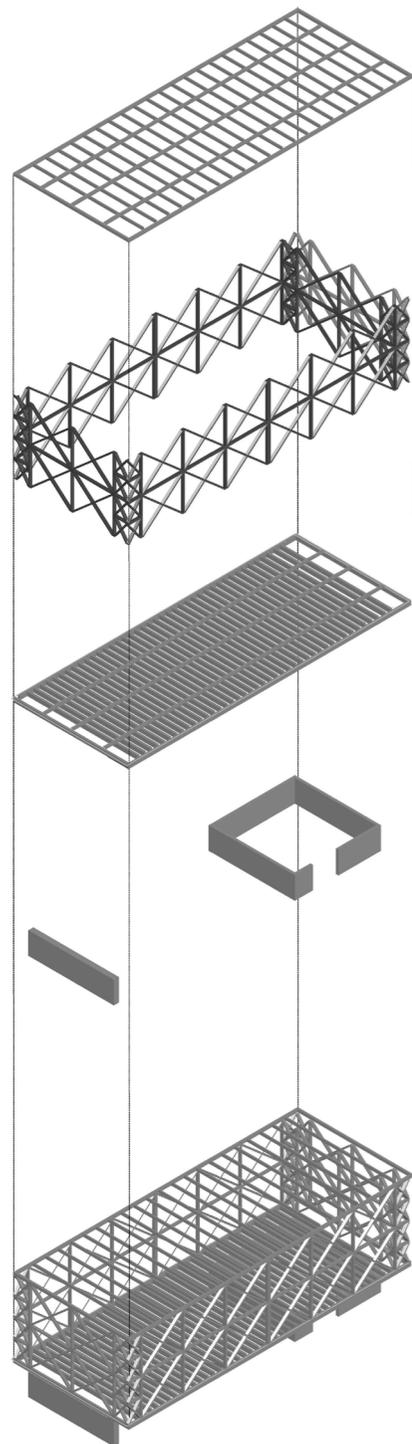
CORTE C

CORTE F





ALÇADO NORTE



Cordas Superiores das Treliças: Perfis HEB 600

Madres: Perfis IPE 400

Travamentos: Perfis IPE 400

Prumos e Diagonais das Treliças: Perfis RHS 300x16

Cordas Inferiores das Treliças: Perfis HEB 600

Madres: Perfis HEB 600

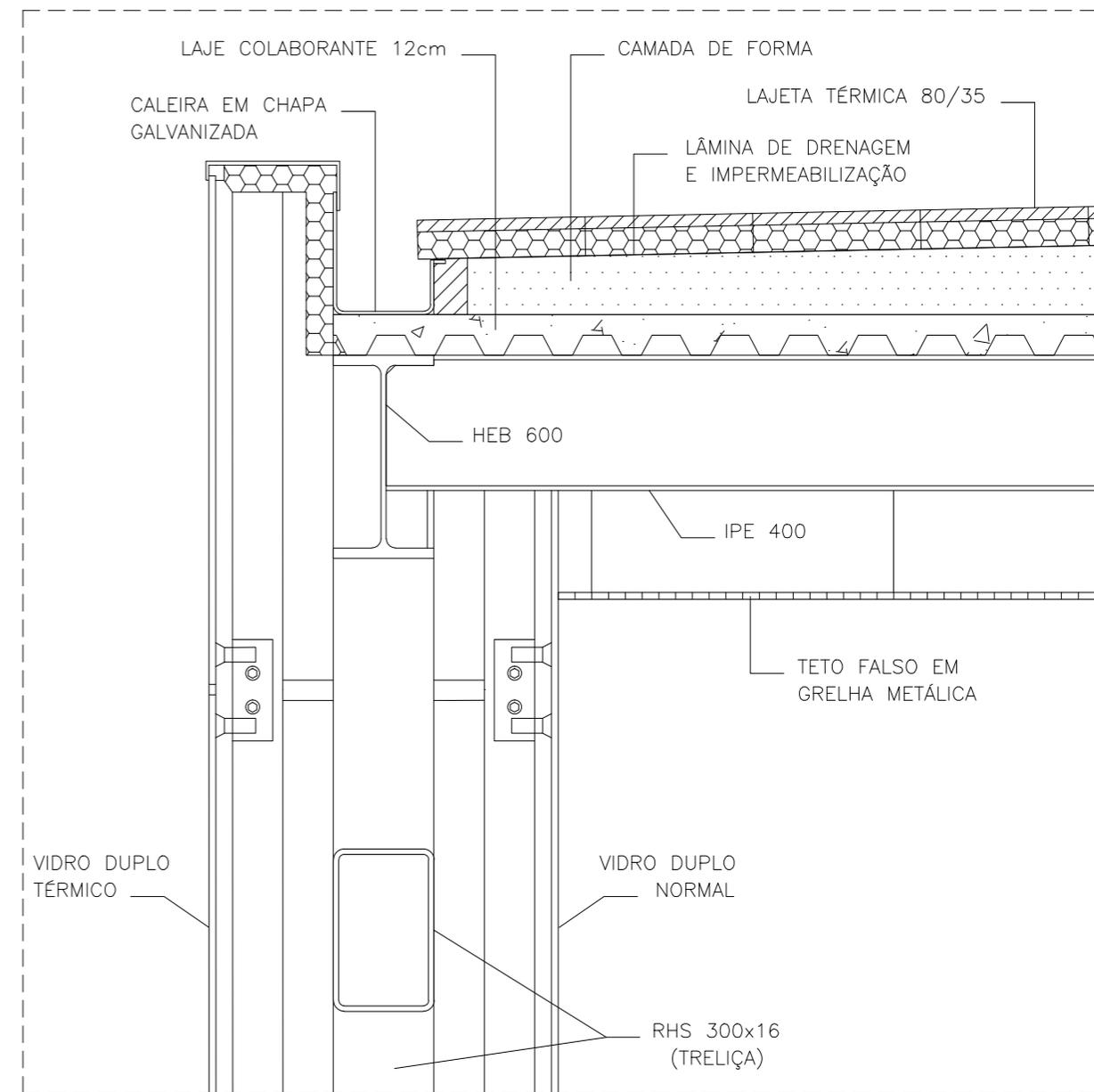
Travamentos: Perfis IPE 400

Paredes de Betão: Espessura 70 cm

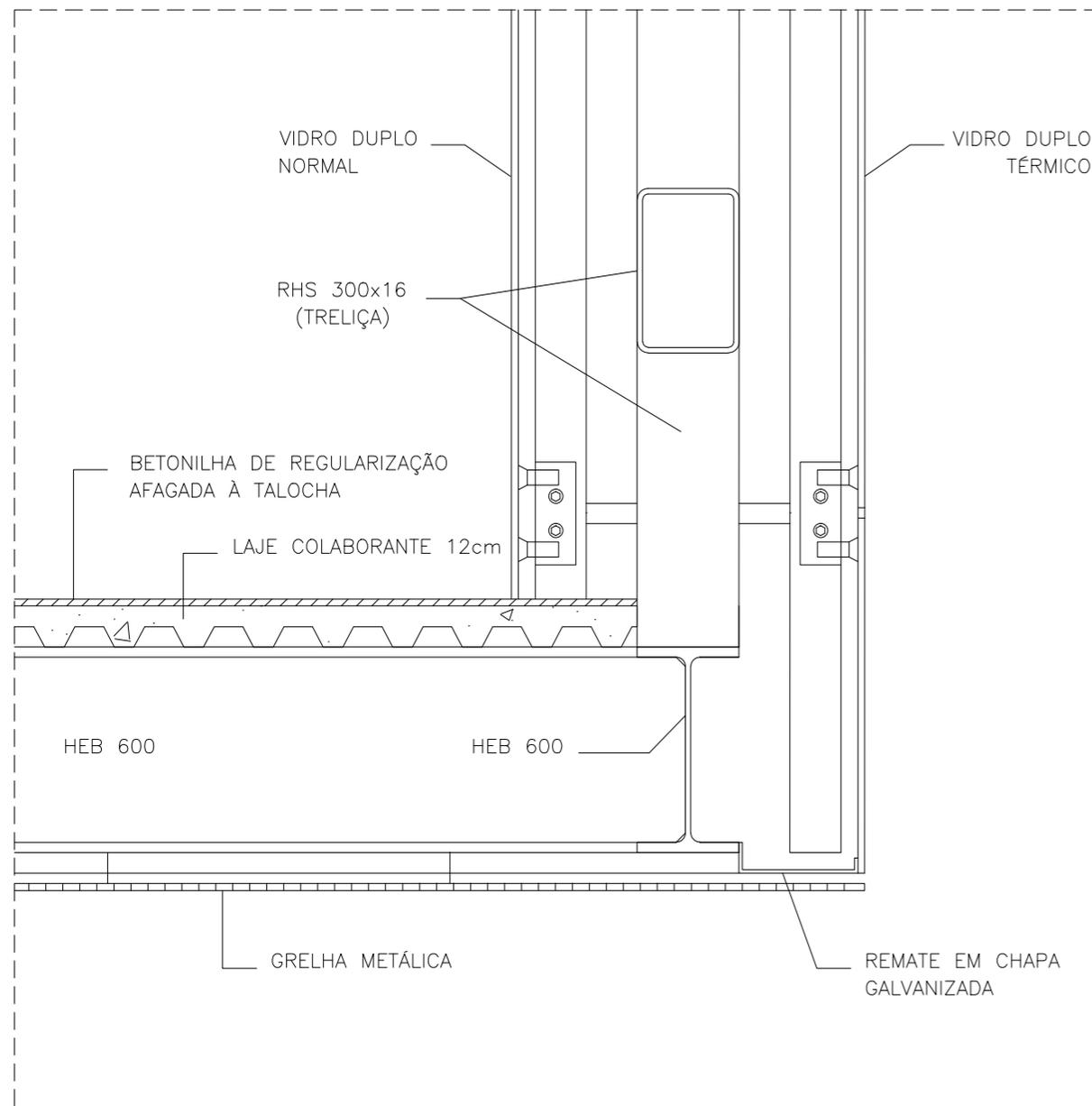
Atendendo aos grandes vãos em causa que foram necessário vencer, sem apoios intermédios, de 30,60 metros no sentido longitudinal e de 18 metros no sentido transversal, optou-se por uma solução em que a estrutura das fachadas fosse constituída por treliças metálicas de grande rigidez, com a altura total do edifício. Estas treliças formam uma espécie de “gaiola” apoiada em três paredes de betão com 0,70 metros. Estas paredes, dispostas no sentido transversal do edifício, por terem um comprimento inferior à largura deste, foram prolongadas na zona superior dos seus extremos, na forma de cachorros para poderem suportar as treliças longitudinais. As treliças das fachadas são constituídas por perfis HEB 600 ao nível do piso e da cobertura e, entre estes, por uma barra horizontal a meia altura, prumos e duas fiadas de travamentos, tipo cruz de santo andré, todos constituídos por perfis metálicos ocos quadrados RHS 300x300x16. Tendo em consideração que a fachada poente não coincide com uma parede de suporte, a treliça desta fachada foi replicada para o plano da parede de suporte.

A estrutura do piso, tendo que vencer um vão de 18 metros, correspondente à largura total do edifício, é constituída por perfis HEB 600 paralelos entre si, com afastamento de 1 metro, apoiados na base das treliças das fachadas longitudinais, sendo ligados entre si por peças de travamento, definindo três alinhamentos equidistantes no sentido longitudinal. Estes perfis suportam uma laje colaborante tipo Haircol 59S, constituída por chapa de aço trapezoidal de 0,75mm de espessura e betão armado, perfazendo uma espessura total de 12cm. Esta laje colaborante é ligada aos perfis da estrutura através de conectores metálicos.

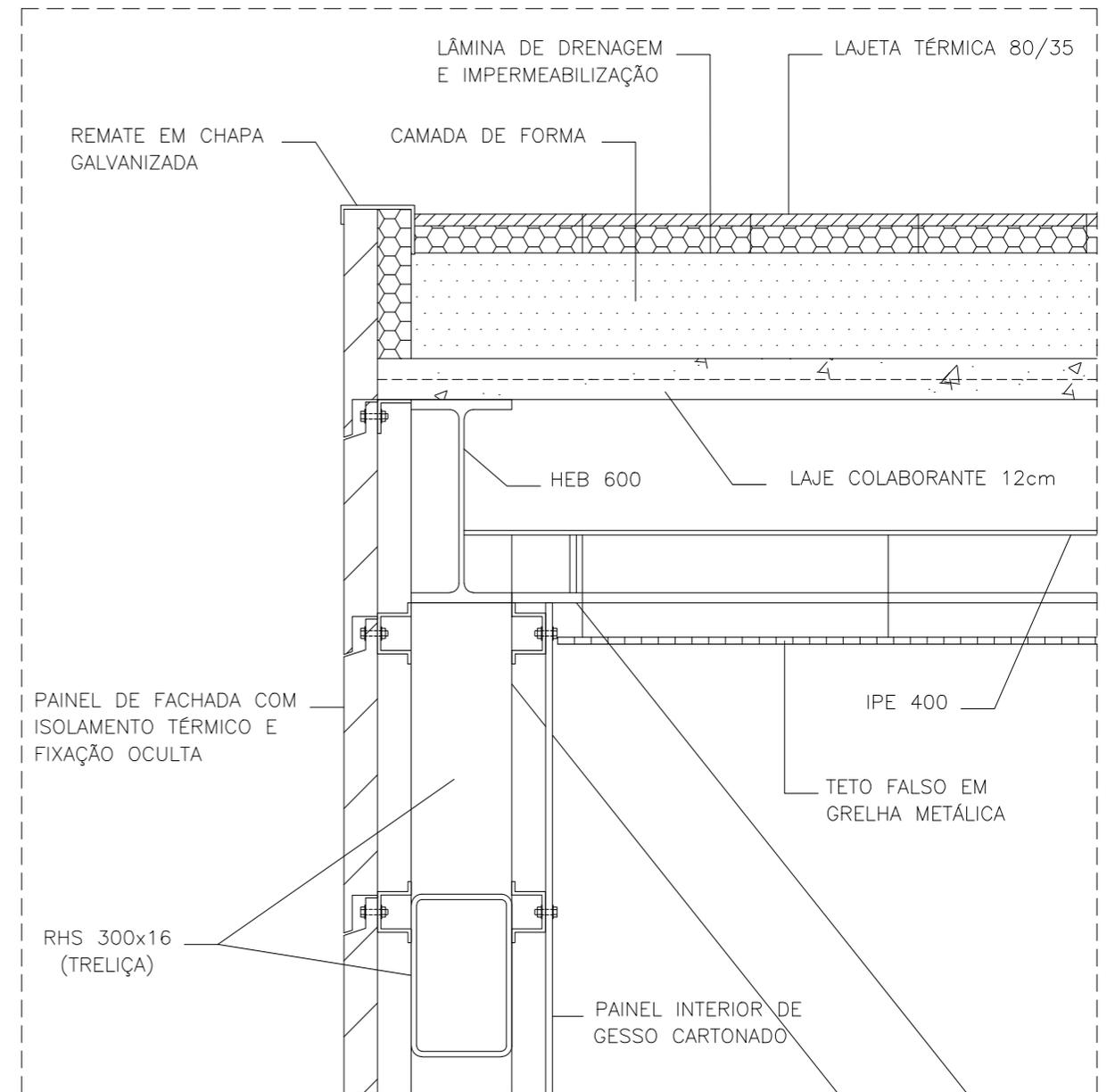
A estrutura da cobertura, vencendo também a largura total do edifício, é constituída por perfis IPE 400 paralelos entre si, com afastamento de 2 metros apoiados no topo das treliças das fachadas longitudinais, sendo igualmente ligados entre si por peças de travamento, definindo três alinhamentos equidistantes no sentido longitudinal. Nas extremidades da cobertura, prevê-se um travamento em "V" sob os perfis IPE 400 cujo vértice se situa a meio do topo da fachada transversal, com o objetivo de conferir rigidez torsional à parte superior da estrutura do edifício.



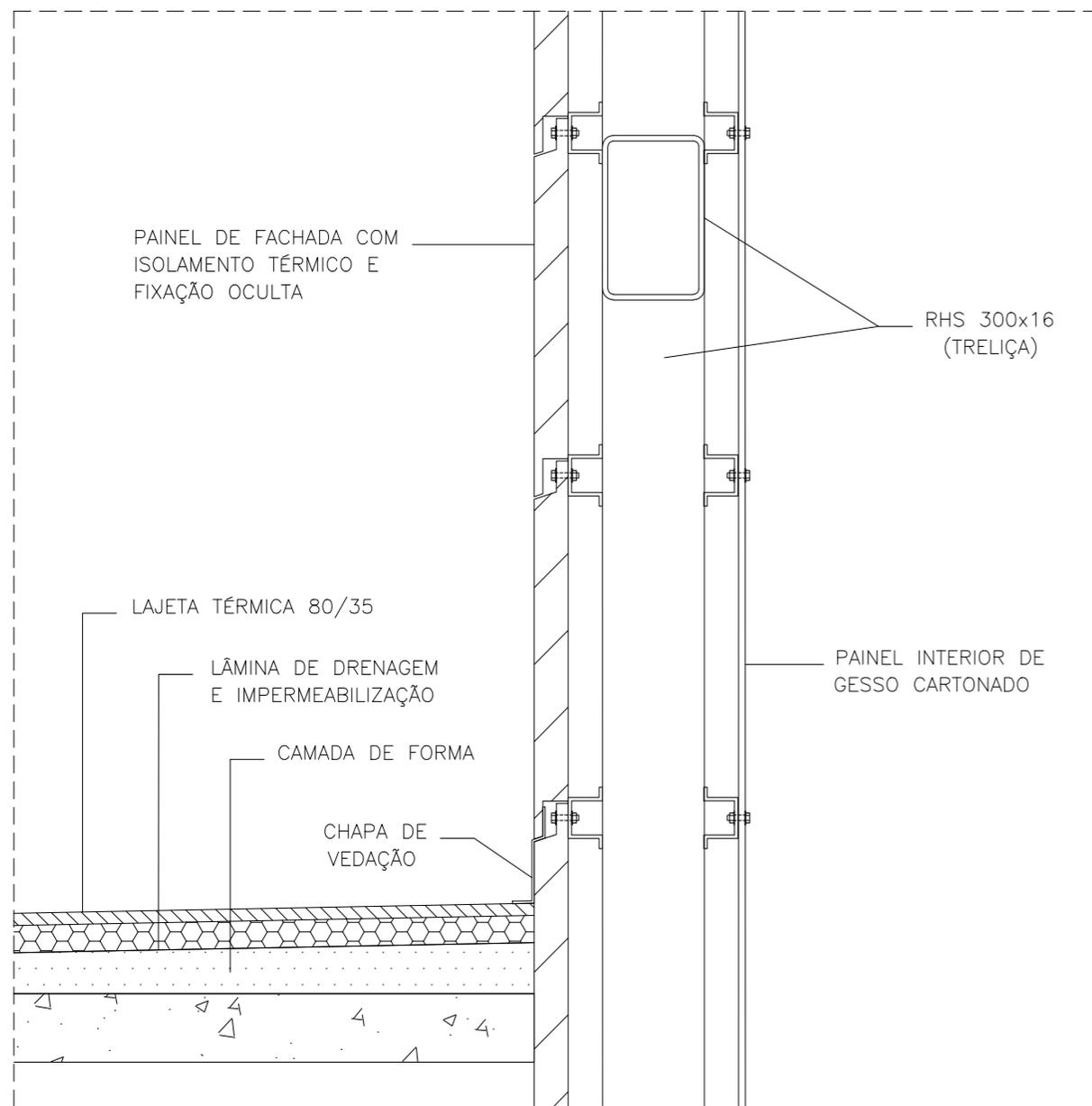
PORMENOR 4



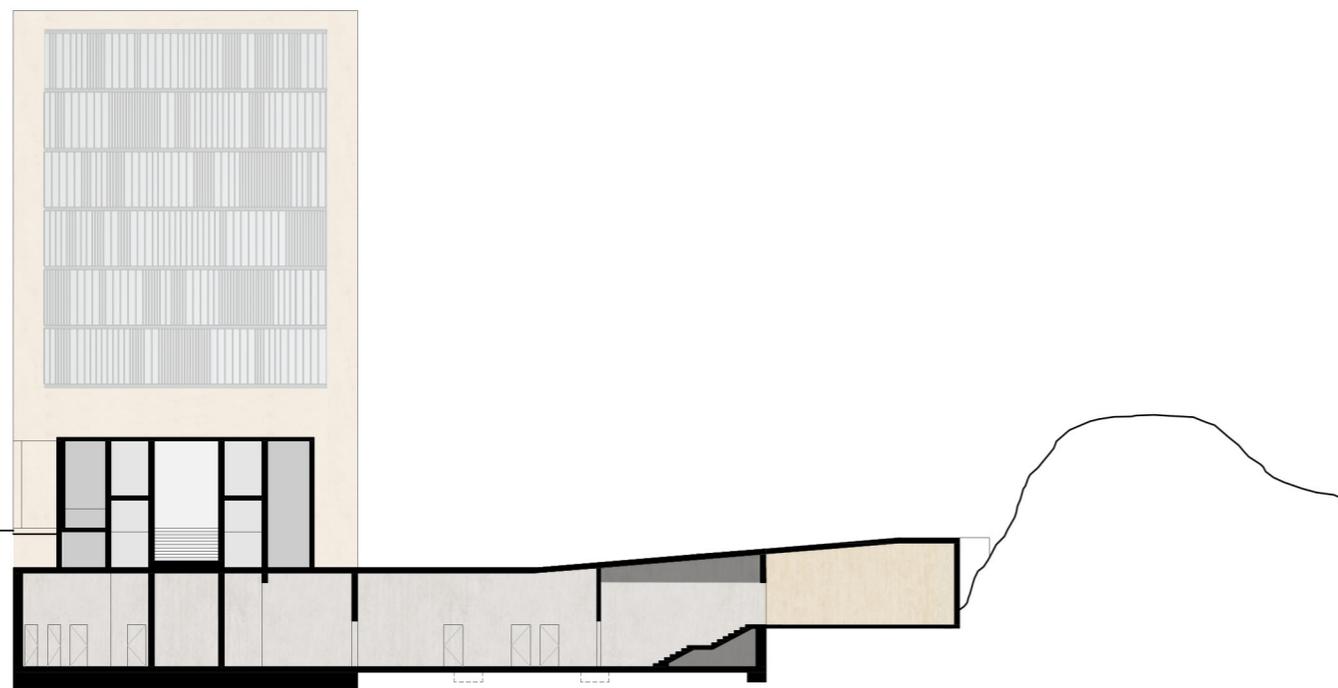
PORMENOR 5



PORMENOR 7



PORMENOR 8



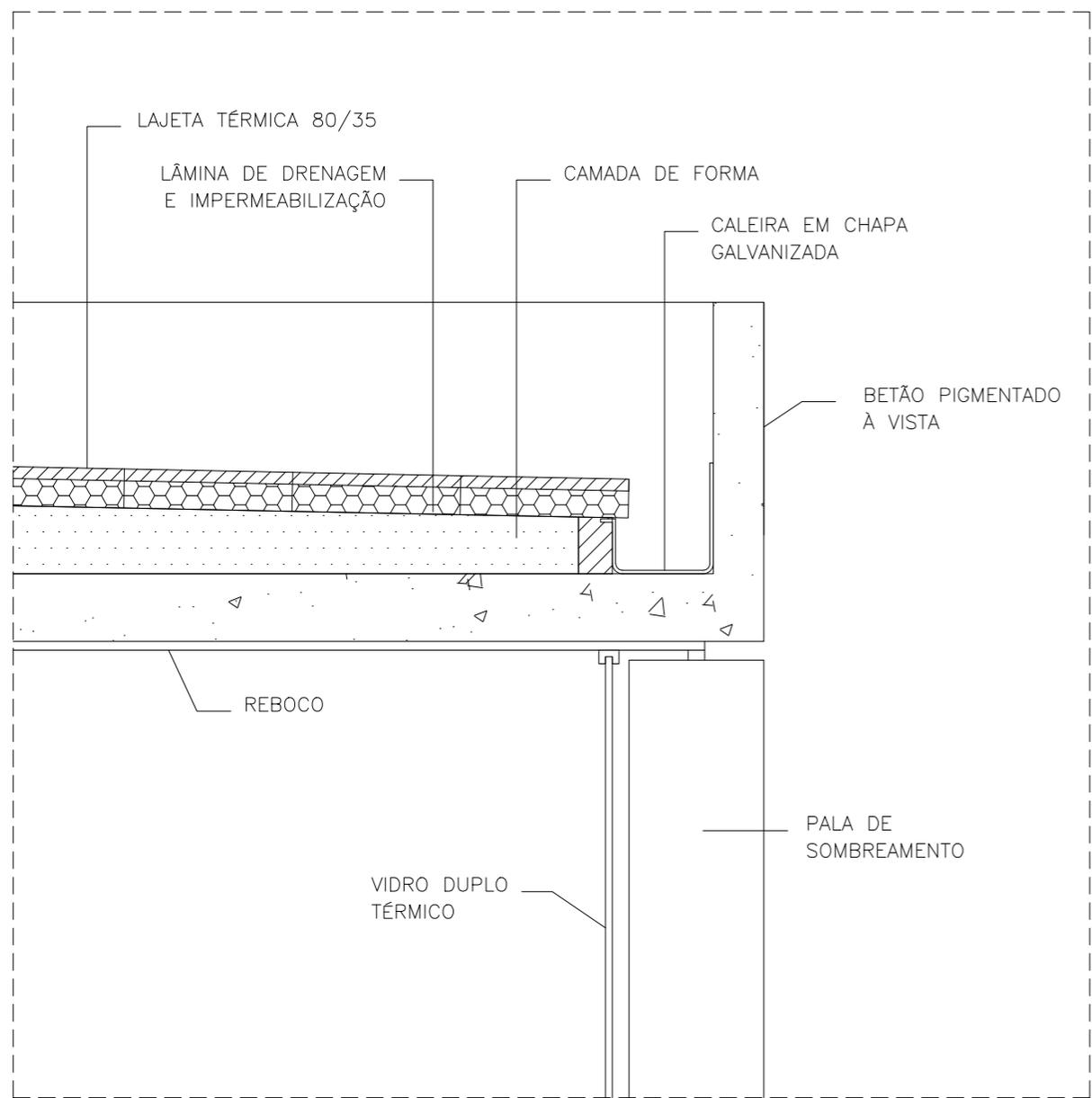
CORTE G

A TORRE E CAFETARIA.

A poente da grande nave surge o elemento torre do projeto, que faz o remate da empena cega do edifício contíguo ao lote. Pretende-se com isto obter um diálogo entre a construção nova e a pré-existente, que apesar da escala desajustada em relação ao lugar (28 metros de altura) e da estética duvidosa, se procura integrar dentro da nova lógica urbana.

A torre incorpora os acessos à grande nave do lado nascente, serviços administrativos, gabinetes técnicos (registo, conservação, design das exposições, etc) e uma pequena biblioteca/sala de leitura para que os visitantes consultem as obras do Centro de Documentação. As melhores vistas são garantidas a partir dos gabinetes e administração por serem espaços de forte permanência.

Por fim, e a fechar o conjunto que abraça o jardim, surge um pequeno corpo que começa a ganhar cota a partir do pódio elevado e ganha altura na sua extremidade para ali instalar uma cafeteria que se possa tornar num potencial catalisador de vida para este espaço público. Este elemento construído bem como a vegetação colocada na sua cobertura têm um papel decisivo no atenuar do impacto da escarpa e dos muros de contenção pertencentes aos blocos de habitação da Avenida Belo Horizonte.



PORMENOR 6

Através do apoio de Maria Heleno do Museu do Trabalho e do Chefe do Serviço Municipal de Bibliotecas e Museus, foi possível obter alguns dados importantes ao desenvolvimento dos serviços internos do museu. Em primeiro lugar, a área total do Centro de Documentação do Museu do trabalho, incluindo as reservas documentais, é de aproximadamente 130m² e das Reservas de Peças aproximadamente 400m².

Atendendo ao facto do novo edifício juntar várias coleções e de estas estarem em constante crescimento, os intervenientes sugerem que o projeto possa contemplar um aumento do espaço hoje existente e, nesse sentido, o Centro de Documentação e Reserva Documental deverá passar a ter 200m² onde se inclui sala de expurgo, sala de conservação e restauro, sala de catalogação de documentos, depósito de peças e sala de atendimento aos utilizadores. Já o espaço de Reservas de peças deverá ter 800m² contemplando sala de expurgo; espaço de oficina; sala de catalogação de documentos, sala de conservação e restauro e depósito de peças. Estes objetivos foram mantidos ao longo do processo, tendo-se conseguido colocar todo o programa bem como alcançar um total de 270m² para o Centro de Documentação e Reserva Documental e um total de 700m² para o Depósito de Peças.

Dada a dimensão do edifício e do número de funcionários que este pode vir a albergar tornou-se essencial criar uma solução para o problema do estacionamento. Sendo esta uma zona urbana pouco consolidada, o estacionamento enterrado destina-se somente a funcionários dos serviços internos do museu, estando o estacionamento público assegurado no plano estratégico. As cargas e descargas do Centro de Documentação e Reserva Documental bem como da Cafeteria são feitas no próprio estacionamento, preparado para receber viaturas de transporte de carga.

Zero Energy Building na Arquitetura Contemporânea

Museu da Cidade de Setúbal

Filipe Manuel Martins Teixeira

ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa
Escola de Tecnologias e Arquitetura
Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Zero Energy Building na Arquitetura Contemporânea
Caso de Estudo: Museu da Cidade de Setúbal

Filipe Manuel Martins Teixeira

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

Orientador

Professor Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato

Outubro | 2015

Índice	
Resumo	116
Abstract	117
Introdução Geral	118
Zero Energy Building – Compreender o Conceito	120
Enquadramento ao ZEB	120
Definição ZEB	121
Formas de Avaliar ZEB's.....	128
Legislação Europeia e Nacional.....	130
Medidas de Eficiência Energética	132
Estratégias Ativas.....	144
Caso de Estudo: Museu da Cidade de Setúbal.....	151
Definição de Estratégias de Eficiência Energética para otimização do edifício.....	151
Zona 1 – Sala Polivalente.....	154
Objetivos	154
Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas.....	154
Zona 2 – Corredor de Exposições	157

Objetivos	157
Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas.....	158
Zona 3 – Salas de Exposições.....	159
Objetivos	159
Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas.....	159
Zona 4 – Grande Nave de exposições.....	160
Objetivos	160
Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas.....	161
Zona 5 – Gabinetes Técnicos.....	170
Objetivos	170
Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas.....	170
Simulações de diversos tipos de soluções construtivas.....	175
Análise Crítica do Processo.....	193
Considerações Finais.....	196
Abreviaturas.....	198
Glossário.....	199
Bibliografia.....	201
Índice de Figuras	206
Índice de Gráficos.....	210
Anexos.....	215

Resumo

Um *nearly zero-energy building (nzeb)* é um edifício que produz tanta ou mais energia quanto a que consome num ano típico. As medidas de eficiência assumem um papel de tal forma preponderante na redução das necessidades de consumo que, através da captação de energias renováveis, se torna possível alcançar um balanço de energia zero. Actualmente, a abordagem mais comum é usar a rede pública como fonte e dissipador dessa energia eléctrica. O conceito tem-se expandido de forma notória, dentro ou fora do território nacional, sendo hoje possível aprendermos os conceitos inerentes aos edifícios de energia zero a partir de importantes projectos, como é exemplo disso o edifício Solar XXI em Lisboa.

Este documento procura abordar o tema de forma prática e acessível, do ponto de vista das preocupações da arquitectura. Para isso, contribui um caso de estudo que pretende compor uma lógica integradora de várias estratégias determinantes no comportamento térmico do edifício, com intenções de arquitetura contemporânea que se querem fiéis aos seus princípios.

Palavras-Chave:

Zero Energy Building; Eficiência Energética; Conforto térmico; Arquitetura contemporânea

Abstract

A nearly zero-energy building (nzeb) is a sort of building that produces as much or more energy than it consumes in an average year. The efficiency measures play an important role to reduce energy consumption such that the balance of energy needs can be supplied with renewable technologies in order to reach a zero energy result. Today's approach is usually to use the public grid as a source and a way to dissipate this electric energy. This concept has been spreading in a notorious way in and outside our national territory. With this intention, it is possible today to learn the underlying concepts of the energy zero buildings through several projects, such as the Solar XXI building in Lisbon.

This Document approaches this subject in a practical and accessible way, from the point of view of architecture concerns. Additionally it contributes with a case study that develops a set of several strategies that are determinant in the building's thermal behaviour alongside with contemporary architecture intentions that are supposed to follow their own principles.

Introdução Geral

Este trabalho é o resultado final do trabalho desenvolvido na vertente teórica da UC de Projeto Final em Arquitetura. A sustentabilidade tem-se tornado um tema cada vez mais relevante no panorama da arquitetura, interessando por isso uma resposta que passe pela reinvenção de novos materiais, novos ambientes, novas preocupações sociais e novas formas de pensar. O trabalho pretende analisar o conceito ZEB (*Zero Energy Building*) de forma a apreender conceitos e métodos que possam, numa fase posterior, servir de referência para serem trabalhados com o projeto de arquitetura desenvolvido na vertente prática. O trabalho começa com uma breve contextualização ao tema, através de diversos autores que permitem reconhecer que o conceito nasce como resposta a uma determinada circunstância ambiental. Seguidamente, é investigada a definição do conceito ZEB onde se apresentam os objetivos do conceito, a sua definição legal e como esta está a ser discutida pelos vários estados-membros do parlamento europeu, a utilização da rede pública como fonte e dissipador de energia e, por fim, exemplos de edifícios ZEB, no passado e no presente. Neste tema estão especialmente presentes as conclusões tiradas do documento *“Zero Energy Building – A critical look at the definition”* do Laboratório Nacional de Energias Renováveis e do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América. No tópico seguinte, foram abordadas as 4 diferentes formas de se avaliar este tipo de edifícios. Para isto, foi muito importante o artigo anteriormente referenciado, que faz uma descrição bastante elucidativa das categorias, com o apoio do documento *“Main Street Net-Zero Energy Buildings: The Zero Energy Method in Concept and Practice”*, com alguns dos mesmos autores do artigo anterior. Foram igualmente investigadas as normas e diretivas relativas ao ZEB ou a outras iniciativas que a União Europeia ou Portugal têm vindo a aplicar. Em seguida, abordam-se as medidas de eficiência energética, através de uma análise que procura transmitir uma grande abrangência de opções para o clima português, com medidas que respondam tanto a necessidades de arrefecimento como de aquecimento. Este tema foi escrito a partir de 13 documentos, dos quais se destaca *“Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em*

Portugal”, de Hélder Gonçalves e João Mariz Graça e *“Estratégias Solares Passivas”*, de Joana Mourão e João Branco Pedro. Destacam-se estas obras no contributo do desenvolvimento do tema, pela forma exímia como abordam as medidas de eficiência no caso do clima português. O *“estado da arte”* termina com a pesquisa efetuada a partir da mais diversificada bibliografia relativa às estratégias ativas onde, de forma bastante clara, se explicam os três principais sistemas de energias renováveis de fácil aplicação em edifícios.

A segunda parte deste trabalho procura determinar o projeto a ser desenvolvido na vertente prática de Projeto Final em Arquitetura, como caso de estudo da vertente teórica. Este é pensado segundo uma lógica integradora de várias estratégias determinantes no comportamento térmico do edifício, de acordo com as características próprias do clima de Setúbal, sem que com isso se percam as intenções de arquitetura contemporânea pretendidas. A partir de uma segmentação do projeto por zonas térmicas, é feita uma aproximação ao real ato de projetar, onde se definem problemas reais e propõem soluções específicas para os problemas apresentados.

Em seguida, são avaliadas, através de simulações de consumos energéticos (wh), várias alterações aos sistemas construtivos dos elementos opacos da envolvente. Cada zona térmica foi definida com um determinado modelo base de sistemas construtivos, que vai ser analisado e comparado com outras possibilidades de otimização da envolvente do edifício, de forma a tirar conclusões pertinentes que enriqueçam e validem a tomada de decisões para o projeto final.

De forma a concluir o trabalho, é feita uma reflexão sobre como foi desenvolvido o processo até ao resultado final e como é que o mesmo influenciou a relação entre as estratégias de eficiência e uma arquitetura contemporânea que se quer fiel aos seus princípios.

Nota - Este texto foi escrito, respeitando o novo acordo ortográfico e as referências bibliográficas apresentadas foram escritas de acordo com a norma Harvard.

Zero Energy Building – Compreender o Conceito

Enquadramento ao ZEB

As mudanças climáticas são evidentes em todo o planeta, estando incontestavelmente relacionadas com as emissões de carbono que derivam em boa parte da produção e utilização da energia (Höfler, et al., 2014). Estima-se que os edifícios sejam responsáveis por cerca de 40% da energia utilizada no mundo e tornou-se um facto inegável que medidas e mudanças na forma de conceção dos edifícios resultam em poupanças substanciais de energia (Dionysia, et al., 2010). A União Europeia (UE), embora estabeleça metas para a redução da emissão dos gases com efeito de estufa em 80% de 1990 até 2050 (Bogdan, et al., 2011), continua a ter enormes crescimentos no consumo de eletricidade nos seus estados membros, tendo tido, por exemplo no setor não-residencial, um aumento de 74% nos últimos 20 anos (Economidou, et al., 2011). Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE), também Portugal tem tido um desenvolvimento médio anual dos consumos de energia que representa um aumento considerável nos últimos anos, tendo apenas registado diminuições nos anos de 2011 e 2012, embora pouco significativas (INE, 2013).

É, desta forma, urgente um incentivo a mudanças sérias que respondam aos desafios do impacto dos gases de efeito estufa no clima mundial, ao aumento dos custos de energia e à constante dependência da energia proveniente de recursos naturais fósseis em edifícios, sendo estes enormes consumidores deste recurso no planeta (Pascoalinho, 2013) (Aelenei, et al., 2012). Assim, surge o conceito Zero Energy Building (ZEB) que define os edifícios que se tornam energeticamente eficientes, pela contribuição de estratégias bioclimáticas e pela integração de tecnologias de energias renováveis, com ganhos a nível ambiental, económico e social (Luís da Cunha & Fernandes, 2010). No entanto, para além da necessidade de se atingirem os objetivos ZEB, a exigência passa cada vez mais por conciliar as implicações e condicionantes destes princípios, numa arquitetura que se quer fiel às suas intenções.

Definição ZEB

O conceito ZEB é já aceite na comunidade científica, mas ainda bastante desconhecido por arquitetos e projetistas. Tendo em consideração que a conceção destes edifícios começa a ganhar cada vez mais relevância no panorama das políticas europeias, entre outras, torna-se desta forma urgente um maior conhecimento sobre esta matéria por parte de todos os profissionais envolvidos. Apesar de ser um conceito bastante simples, a conceção e realização de edifícios ZEB requer uma abordagem totalmente diferente da que é mais comum nos edifícios convencionais (Kang, et al., 2010). A forma como os objetivos ZEB são definidos é essencial para que se possa desenvolver o projeto numa correta relação entre medidas de eficiência energética e energias renováveis. Segundo Torcellini *et al*, estes edifícios, altamente eficientes, deverão ter ganhos conseguidos por medidas de eficiência de tal forma vantajosos, que as necessidades de energia possam ser satisfeitas com captação de energias renováveis, fazendo com que o edifício produza tanta energia quanto a que consome num ano típico (Torcellini, et al., 2006).

Devido às dificuldades atuais de colocar o conceito em prática nos diversos estados-membros, essencialmente relacionadas com tecnologia ainda em desenvolvimento ou com custos, a expressão “zero energy” deu lugar à expressão “nearly zero energy” (NZEB) na expectativa duma simplificação do processo e permitindo que este possa efetivamente ser posto em prática. O que está em causa, temporariamente, é a produção local, a partir de fontes renováveis, da quase totalidade das necessidades de energia do edifício; aceita-se assim que uma pequena parcela da energia tenha origem em recursos não renováveis até que seja viável a implementação plena do conceito ZEB. A definição legal do conceito NZEB é deixada em aberto, de forma a que cada estado-membro da UE possa criar as suas próprias

metas e os seus planos nacionais de acordo com o seu contexto local específico. Assim sendo, a diretiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) lançada pela UE não contempla nem uma abordagem uniforme para a implementação de medidas de ZEB, nem metodologias de cálculo do balanço energético. No presente momento, apenas existem princípios e métodos comuns discutidos por especialistas com vista à sua aplicação, por parte dos estados-membros, nos seus contextos específicos, de forma a obterem soluções eficazes, práticas e bem pensadas (Bogdan, et al., 2011). Apesar de já diversos países da UE terem definido as suas normas, pouca investigação foi feita ainda especificamente para o território nacional. É necessária a realização de estudos que caracterizem as necessidades específicas dentro do contexto do nosso país, que podem ser decisivas para a definição de uma estratégia que garanta a sustentabilidade e a performance energética desejada. “(...) a combinação de medidas de poupança, sistemas de eficiência energética e de sistemas de energias renováveis (...) que são mais propensas a conduzir a um verdadeiro desempenho ‘energia zero’ em diferentes zonas climáticas de Portugal, deve resultar de um acurado de investigação e experiência passada, e não de princípios inconsubstanciados e opiniões avulsas.” (Aelenei, et al., 2013, p. 73)

No entanto, muitos consideram que deixar esta função para os estados-membros deixa margem para mal-entendidos entre arquitetos, proprietários e outros envolvidos e não se torna possível ter uma base normalizada ao nível da UE que permita responder a perguntas como: o balanço anual é em quantidade de energia ou em valor monetário dessa energia? É em energia final ou em energia primária? Quais os limites territoriais considerados para a atribuição do consumo de energia ao edifício? Apenas o interior do próprio edifício ou também o restante lote? Atualmente uma equipa de investigadores está a estabelecer um quadro harmonizado de definições internacionais, ferramentas, soluções inovadoras e diretrizes que permitam, num futuro próximo, responder a todas estas questões (Aelenei, et al., 2012). Uma definição comum e abrangente para NZEB’s iria facilitar o entendimento do conceito e trazer uma clarificação das metas a serem adotadas (Torcellini, et al., 2010).

Na prática atual, a abordagem mais comum em ZEB é usar a rede pública como fonte e dissipador da energia elétrica, evitando assim os sistemas de armazenamento no local que se apresentam atualmente ainda bastante dispendiosos e pouco eficientes. O termo *net zero-energy* é usado para relacionar a rede com os edifícios, de forma a definir o balanço entre energia produzida e energia utilizada, num contexto em que o eventual excesso de produção possa ser vendido à rede (Hernandez & Kenny, 2009). Este recurso à rede facilita o funcionamento dos edifícios ZEB já que estes podem produzir energia quando as condições climáticas são favoráveis, exportando a acumulada, caso exista excesso de produção, e utilizando energia fornecida pela rede durante o resto do tempo (Kurnitski, et al., 2011). Caso contrário, sem este recurso constante, tornar-se-ia bastante difícil a conceção dos ZEB, uma vez que as tecnologias correntes de armazenamento de energia são ainda limitadas. Se por exemplo o edifício não se encontrar ligado à rede, o excesso de energia renovável coletada no verão tem de ser necessariamente gasto neste período e não poderá ser usado para as necessidades do inverno (Aelenei, et al., 2012). É assumido em teoria que o excesso de energia pode ser sempre integrado na rede; contudo, nalguns mercados mais desenvolvidos, poderá ser a rede a não necessitar desse excedente (Torcellini, et al., 2006). Caso não seja possível vender esse excedente à rede, é sempre possível acumular esta energia em baterias ou usá-la para aquecimento de água (Mourão & Pedro, 2012).

Uma das primeiras tentativas documentadas para alcançar resultados zero em energia foi a casa *Solar I*, de 1939, no campus do MIT, com uma grande área de recolha de energia solar térmica e armazenamento de água, representando a primeira casa a gerar energia por este meio (Butti & Perlin, 1980). Em 1973, foi construída a casa DTH em Copenhaga, Dinamarca, e em 1977 a *Conservation House* (Figura 1) em Saskatchewan, Canadá, que viriam a revelar-se decisivas no aprimorar de métodos de eficiência energética, tornando-se modelos importantes para posteriores edifícios (Esbensen & Korsgaard, 1977). O número de edifícios NZEB tem crescido muito rapidamente e estima-se que nos últimos 20 anos tenham sido construídos cerca de 200 reputáveis projetos, (Musall, et al., 2010) salientando-se edifícios como o *Oberlin College* em Ohio, EUA, a casa experimental de *Effizienzhaus*

Plus em Berlim (Figura 2), o edifício *Solar XXI* em Lisboa (Figura 3), o empreendimento Bed-ZED em Londres (Figura 4) ou um edifício de habitação unifamiliar em Larvik, Noruega (Figura 5). Este último, do atelier de arquitetura Snøhetta, consegue aliar de forma exímia estratégias de eficiência com elementos de captação de energia solar colocados na cobertura. Espera-se assim que, num futuro próximo, "(...) não se venham apenas impor limites de necessidades energéticas mas que, através do conceito NZEB, (...) se passe a aumentar de forma eficiente a produção descentralizada motivando o aparecimento e proliferação de edifícios energeticamente autónomos" (Mendes, et al., 2012, p. 2).



Figura 1 *Conservation House*, Saskatchewan, Canadá (1977)



Figura 2 - Casa Experimental *Effizienzhaus Plus*, Werner Sobek Architects –, Berlim, Alemanha (2011)



Figura 3 Edifício Solar XXI,arquitetos Pedro Cabrito e Isabel Diniz, Lisboa, Portugal (2006)

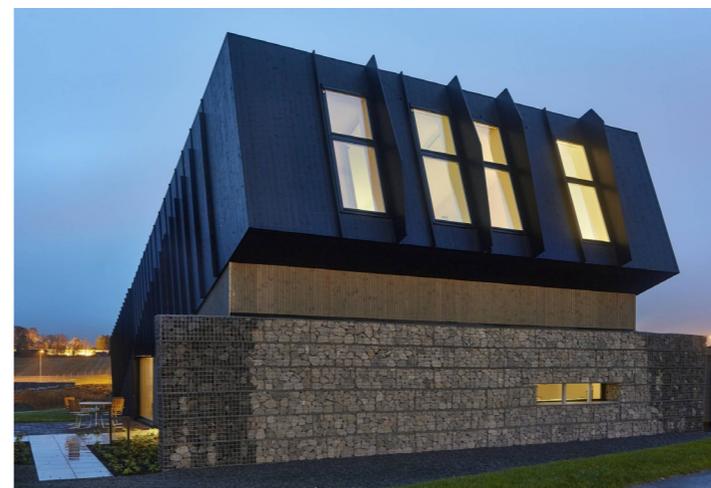


Figura 5 Edifício de Habitação Unifamiliar, - *Snohetta Architects*, - Larvik, Noruega (2014)



Figura 4 - Empreendimento Bed-ZED, – *Bill Dunster Architects*, - Londres, Reino Unido (2002)

Formas de Avaliar ZEB's

A avaliação energética de edifícios considera, geralmente, apenas o uso de energia na forma de combustíveis fósseis ou energia elétrica para o funcionamento do edifício, sem sequer considerar, por exemplo, a energia despendida na construção ou no processo de fabricação de materiais (Hernandez & Kenny, 2009). Como já foi referido anteriormente, a EPBD não especifica formas de fazer esta avaliação ou quantificação nos NZEB; no entanto, alguns autores têm elaborado soluções que poderão ajudar a compreender todo o processo inerente à criação destes edifícios, bem como facilitar as soluções a ser encontradas por arquitetos para a tomada de decisões em projeto. Segundo Torcellini *et al*, um NZEB pode ser classificado de várias formas, dependendo dos objetivos do projeto, das intenções do investidor, dos arquitetos responsáveis, dos custos da energia ou da preocupação com as alterações climáticas (Torcellini, et al., 2006). Cada classificação tem vantagens e desvantagens que afetam o tipo de estratégia a adotar na criação de NZEB (Bruni, et al., 2012). Desta forma, quatro classificações podem ser referidas: *Net Zero Site*; *Net Zero Source*; *Net Zero Costs* e *Net Zero Emissions*. As expressões mais utilizadas/citadas são, no entanto, referentes às duas primeiras acima descritas (Aelenei, et al., 2013).

Antes da especificação sobre as várias classificações, é importante referir que, na maior parte dos casos, se considera um ano para a avaliação, revisão e monitorização de NZEB, embora também seja possível avaliar mensalmente ou sazonalmente (Bruni, et al., 2012). A monitorização, que não é obrigatória ainda, permite medir se o edifício está com um balanço energético eficaz e se o conforto interior não está a ser influenciado negativamente pelas medidas NZEB (Sartori, et al., 2010). O período

de tempo anual assume uma preferência face às outras opções devido ao fato de incluir variações climáticas sazonais e variações funcionais sazonais (quando existam) tornando esta uma opção que oferecerá uma avaliação mais fidedigna em relação às outras alternativas. O primeiro termo, *Net Zero Site*, significa que o edifício produz localmente, num ano, tanta energia quanto a que necessita em termos de energia final (Torcellini, et al., 2006). Nesta classificação, o facto de os valores não serem contabilizados na fonte acaba por permitir que a classificação não tenha a precisão que seria desejada; no entanto, verificar no local a energia despendida é sempre um processo mais simples que a sua verificação nos locais de produção. Deve-se igualmente ter em conta que, nesta classificação, a energia fornecida e retirada da rede deverá incluir os fatores de conversão para energia primária (Aelenei, et al., 2013). Um *ZEB Source*, que corresponde ao modelo usado atualmente pela EPBD recast num contexto de NZEB, ao contrário do caso anteriormente descrito, já implica um cálculo do balanço com base em energia primária (Aelenei, et al., 2012). Energia primária refere-se ao recurso natural utilizado para fornecer energia final ao edifício. Inclui a extração, o processamento, a produção e a distribuição da energia para o edifício. De forma a calcular um ZEB segundo este critério é necessário considerar os fatores de conversão entre energia final e energia primária em função do designado mix energético do local de implantação do edifício. No que respeita ao *ZEB Costs*, está em causa o cálculo do balanço energético em função do preço da energia importada e exportada para a rede, considerando naturalmente os custos de distribuição e os custos fiscais, entre outros. Esta opção pode implicar alguma instabilidade nos resultados, pois a meta ZEB pode ser cumprida num determinado ano e não o ser noutro, devido a variações nas taxas de serviços públicos. Por fim, um edifício *ZEB Emissions* produz (ou compra) suficiente quantidade de energia renovável para compensar as emissões de gases com efeito de estufa associadas a toda a energia usada no edifício anualmente. Para calcular as emissões totais de um edifício, segundo este critério, a quantidade de energia importada e exportada é multiplicada pelos fatores de conversão para emissão adequados, com base nas emissões da fonte e nas emissões geradas no local, caso estas existam. Pode, no entanto, existir alguma dificuldade no sentido de determinar qual a fonte que abastece o edifício (Torcellini, et al., 2006) (Torcellini, et al., 2010).

Um outro critério importante a conhecer é a correta especificação dos termos referentes à origem da produção de energia renovável que será considerada para o balanço energético: *On-Site* e *Off-Site*. A primeira refere-se à energia produzida, através de tecnologias de energias renováveis, dentro do perímetro do lote de implantação do edifício (Pless & Torcellini, 2010). Na situação de se tratar de um lote numa área urbana consolidada, existe geralmente alguma dificuldade adicional na produção de energia a partir de fontes renováveis, devido às limitações físicas que o lote possa ter (Bruni, et al., 2012). Desta forma, torna-se necessário recorrer à produção *Off-Site*, que considera o uso de energia renovável proveniente de fontes fora do perímetro do lote. Se a compra de energia não for certificada como energia renovável, não se torna possível manter o estatuto do edifício como um NZEB (Pless & Torcellini, 2010).

Legislação Europeia e Nacional

A UE tem procurado responder ao aumento dos consumos de energia nos seus estados-membros com a criação de medidas e planos estratégicos, acompanhadas por diretivas, que pretendem ter um forte impacto na melhoria da eficiência energética dos edifícios e no desenvolvimento das energias renováveis (Gonçalves, 2010a). Três importantes medidas a salientar foram, num primeiro ponto, a que respeita à diretiva 2002/91/CE sobre o desempenho energético dos edifícios (EPBD). Nesta é estabelecida a obrigatoriedade dos estados-membros da UE emitirem certificados energéticos para edifícios, por exemplo no caso de construções novas ou de reabilitação importante de um edifício já existente (Comini, et al., 2008). Seguidamente, deve ainda ser referida a diretiva 2012/27/EU (Parlamento Europeu, 2012), que estabelece várias medidas no sentido de economizar 20% do consumo de energia

primária da UE até 2020 em relação às projeções, e cria regras que permitam ultrapassar obstáculos que hoje ainda impedem a eficiência energética. Por último, a 10 de maio de 2010, foi aprovada pelo Parlamento Europeu a revisão da EPBD com a diretiva 2010/31/EU, que determina que os estados-membros devem assegurar-se de que, a 31 de dezembro de 2018, todos os edifícios cujos proprietários são entidades públicas são NZEB e a 31 de dezembro de 2020 todos os novos edifícios, sem exceção, são NZEB (Kurnitski, et al., 2011). Com esta decisão, é esperado que até 2020 o consumo de energia, bem como as emissões de CO₂, sejam reduzidas até 6% em toda a UE em comparação com os resultados de 2010_(EPBD(recast), 2010).

“A nova EPBD, vai obrigar todos os edifícios novos construídos a partir de 2020 serem caracterizados por níveis mais elevados de desempenho energético, procurando explorar mais as fontes de energias renováveis disponíveis localmente, numa base economicamente equilibrada e sem prejuízo para o conforto dos ocupantes” (Aelenei, et al., 2013, p. 70)

A primeira versão da diretiva foca-se em metodologias e construção nova e a sua posterior reformulação já dá importância aos edifícios existentes, sobretudo aos que possam ser sujeitos a importantes obras de reabilitação e a operações de substituição de elementos e componentes técnicos que sejam grandes consumidores de energia (Mazzarella, 2014). Desde a publicação destas duas últimas diretivas que a Comissão Europeia está a incentivar os estados-membros a definir políticas capazes de estimular o aumento de edifícios NZEB, que ofereçam uma adequada relação custo-benefício (Cappelletti & Gasparella, 2014). O conceito tem vindo a receber uma crescente valorização nos últimos anos, fazendo já parte integrante das políticas da energia na UE e EUA (Sartori, et al., 2010).

No plano nacional, Portugal procura enfrentar o compromisso assumido pelos estados-membros face às diretivas europeias e à própria legislação em vigor, como um grande líder europeu em matéria de energias renováveis em 2020 (Diário da República n.º 73, 2010). Desta forma foram

traçadas ambiciosas metas como o ENE 2020 ou o PNAEE 2016 e o PNAER 2020 (Diário da República n.º 70, 2013) que, no entanto, pouca importância dão à energia despendida pelos edifícios. Quanto a esta matéria, destacam-se o Decreto-Lei n.º 118/2013 e os inúmeros despachos e portarias associados que transpõem a revisão da EPBD para o direito nacional, constituindo-se deste modo como a revisão dos anteriores Decretos-Lei n.º 78/2006, 79/2006 e 80/2006. Desde 2006 que se definiu o Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior dos Edifícios, no qual se estipula a obrigatoriedade de apresentação do certificado para todos os novos edifícios, bem como para os que sejam alugados ou vendidos (Comini, et al., 2008).

Medidas de Eficiência Energética

Uma boa definição de NZEB deve sempre primeiro incentivar a aplicação de medidas de eficiência energética e só depois usar fontes de energia renováveis disponíveis no local (Torcellini, et al., 2006). A arquitetura bioclimática viu o seu conceito evoluir ao longo dos tempos, desde uma arquitetura exclusivamente associada à eficiência energética até um entendimento que aborda também aspetos estéticos e funcionais, numa conceção que trata o clima como uma variável importante no processo de projetar (D'Amico, 2000). Dependendo do clima, os edifícios comportam-se de formas distintas e exigem diferentes estratégias de intervenção (Höfler, et al., 2014). A atualidade proporciona-nos uma quantidade notável de edifícios que são exemplos na sua capacidade de “construção com o clima” e respetiva viabilidade económica. Diferentes estudos demonstram que é possível atingir reduções até 70% do consumo energético, quando comparados com os procedimentos de construção convencionais (D'Amico, 2000), permitindo uma contribuição muito significativa para alcançar as metas NZEB.

“Quando na concepção de um edifício são utilizadas as estratégias bioclimáticas correctas, o edifício está mais próximo de atingir as condições de conforto térmico ou de diminuir os respectivos consumos energéticos para atingir esses fins.” (Gonçalves & Graça, 2004, p. 10)

No entanto, mais importante ainda que a definição são os princípios e conceitos, inerentes a todo o processo, que procuram compreender os fatores climáticos e ambientais existentes no lugar e como estes podem interagir com o edifício, criando condições de conforto interno (Monteiro, 2011). Estes não devem ser encarados como uma oposição ao ato de projeto contemporâneo mas sim como instrumentos de melhoria do desempenho energético do edifício que podem perfeitamente coexistir com a manutenção dos valores culturais e sociais da arquitetura. Exemplo disso é um edifício do Kiefer Technic's hospital, dos arquitetos Giselbrecht + Partner, na Áustria (Figura 6). A literatura é, porém, relativamente limitada a respeito de quais as melhores soluções para diferentes tipologias e climas que possam ser suscetíveis de produzir um desempenho real e confiável em termos de balanço energético (Aelenei, et al., 2012).

As técnicas utilizadas no contexto destes conceitos estão incluídas dentro de duas categorias: redução das necessidades de energia e utilização de equipamentos mais eficientes. Dentro da redução das necessidades de energia inclui-se: atualização dos níveis de conforto que se pretendem atingir, padrões de uso e estratégias de projeto passivas. No que respeita aos níveis de conforto, existe uma complexidade considerável na avaliação da sensação de conforto onde a experiência do espaço não é apenas visual e tátil, mas também térmica, sonora e olfativa. A sensação depende de fatores humanos, como o metabolismo e o estado momentâneo do indivíduo e fatores específicos, como a temperatura das superfícies (a radiação da temperatura que contribui para a sensação térmica) e a humidade relativa (que influencia o conforto térmico em situações extremas). As variações de temperatura são também importantes para as condições de conforto, visto que o corpo humano não se adapta bem à estabilidade absoluta do ambiente interior (Mourão & Pedro, 2012).

Quanto às estratégias de projeto passivas para conservação e utilização direta de energia, por não

adicionarem tecnologias ou componentes específicas, representam a forma mais neutra de eficiência energética em edifícios e geralmente são referentes a temas como o isolamento dos elementos da envolvente, a inércia térmica, técnicas de arrefecimento, técnicas de aquecimento, a ventilação e a iluminação dos espaços (Mourão & Pedro, 2012). Apesar de se necessitar de ter presente a grande variedade de opções existentes, mais importante ainda é a capacidade que o arquiteto deve ter para saber conciliar com o ambiente envolvente. Numa fase mais inicial, devem ser pensadas questões como a geometria do edifício, a disposição dos espaços, as soluções construtivas da envolvente, o uso de recursos naturais locais, o respeito pelo ambiente natural ou a orientação das suas fachadas, já que irão condicionar o aproveitamento dos ganhos solares e, como consequência, o aquecimento eficiente (Rodrigues, et al., 2010) (Mourão & Pedro, 2012).

Climas quentes necessitam de estratégias de controlo climáticas que possam garantir conforto tanto no verão como no inverno com poucas necessidades de energia (Aelenei, et al., 2012). No verão, a radiação solar deverá ser atenuada e deverão ser adotadas estratégias que deem origem a processos de dissipação de calor (Gonçalves & Graça, 2004). Uma das formas possíveis de atenuar a radiação solar direta dos ambientes interiores faz-se por meio de dispositivos de sombreamento eficazes (Ferreira, 2009), principalmente nos vãos a poente e nascente. Os dispositivos de sombreamento fixos devem ser calculados e desenhados especificamente para cada fachada, segundo a sua orientação, dimensão dos vãos e incidência solar ao longo do ano (Brajal, 2012). A integração destes dispositivos nos edifícios é oportuna especialmente em casos em que existe a necessidade de controlar a excessiva radiação solar direta, difundir a luz em compartimentos profundos ou quando os requisitos de iluminação são especialmente exigentes em programas onde a penetração de luz tem de ser controlada e minimizada como é o caso dos museus (Mourão & Pedro, 2012). A melhor opção será sempre a colocação dos dispositivos de sombreamento pelo exterior, pois impede de forma mais eficaz a entrada de radiação direta, como é exemplo o edifício de apartamentos Luna dos Arquitetos *Elenberg Fraser*, na Austrália (Figuras 7 e 8). Caso não seja possível aplicar esta solução, deverá considerar-se a colocação dos dispositivos pelo interior associados a vidros refletantes (Gonçalves & Graça, 2004). As texturas rugosas,

as saliências e as reentrâncias podem também complementar uma função importante de sombra, protegendo do sobreaquecimento elementos como paredes exteriores, coberturas ou pavimentos. No exterior, a vegetação e a água podem desempenhar a mesma função (Mourão & Pedro, 2012).

No que respeita à ventilação natural, e face ao clima existente no nosso país, com amplitudes térmicas diárias significativas no verão, podendo atingir 20°C (dia-noite), a ventilação pode ser implementada neste período para arrefecimento noturno dos edifícios ou quando tal se torna necessário no sentido de arrefecer um ambiente interior. Nesta última situação apenas se poderá ventilar em alturas do dia em que a temperatura exterior seja inferior à temperatura interior do edifício, como por exemplo durante a manhã. No inverno, interessa limitar as infiltrações já que as temperaturas exteriores estão abaixo das condições de conforto mas a renovação do ar deve ser sempre assegurada por uma manutenção das condições de salubridade dos edifícios (Gonçalves & Graça, 2004). A circulação do ar pode ser feita através de aberturas nas diferentes fachadas e saída de ar também nas fachadas (ventilação transversal) de forma a permitir o varrimento de todas as divisões (Gonçalves, 2010b). O edifício deve permitir a circulação de ar quente, obtido nas fachadas orientadas a sul, aos espaços mais frios, geralmente orientados a norte (Brajal, 2012). O projeto *Solar XXI*, já anteriormente referido neste trabalho, resolve de forma inteligente esta questão, entre outras matérias, através de aberturas reguláveis em todas as portas e fachadas (Figura 9), que ligam os vários espaços ao corredor e a um poço central que permite uma ventilação ascendente por efeito de chaminé (Gonçalves, 2010b). Uma solução semelhante é a ventilação por deslocamento, através da colocação de aberturas na base ou no topo de um espaço ou edifício, permitindo que o ar frio entre na base extraíndo naturalmente o ar quente pelo topo (Figura 10). A utilização de chaminés térmicas solares ou torres de ventilação facilita a extração do ar quente e desta forma permite um arrefecimento mais eficiente. As fachadas de dupla pele e as fachadas ventiladas podem igualmente ter uma papel predominante na ventilação e otimização da envolvente de um edifício (Figuras 11 e 12). Através da criação de uma câmara de ar que se encontra entre a parede exterior e o revestimento do edifício torna-se possível isolar contra temperaturas extremas, vento e ruído (Harrison & Chatham, 2003) (Mourão & Pedro, 2012). Embora estes tipos de ventilação natural sejam

sempre preferíveis, em edifícios de grandes dimensões como estabelecimentos comerciais ou grandes edifícios administrativos pode não ser possível recorrer a estas soluções, sendo necessário nestes casos recorrer à ventilação mecânica com pré-aquecimento ou arrefecimento, através de condutas isoladas que mantenham o ar a uma temperatura estável (Mourão & Pedro, 2012).

O arrefecimento passivo pode ainda ser conseguido sob outras formas, embora menos utilizadas, entre elas o arrefecimento radiativo, o arrefecimento evaporativo e o arrefecimento pelo solo. O primeiro aplica-se tirando partido das trocas radiativas entre o interior e o exterior do edifício por meio da sua cobertura. A segunda tirando partido do arrefecimento provocado pela evaporação da água através da criação de fontes, piscinas ou lagos artificiais (Gonçalves & Graça, 2004) como acontece, por exemplo, no Data Center da Portugal Telecom do arquiteto Carrilho da Graça (Figura 13). A última situação acontece utilizando o solo como fonte de dissipação de calor por meio de tubagem subterrânea (Figura 12) (Brajaj, 2012). Esta tubagem, composta por condutas impermeáveis que podem ser dispostas na horizontal ou vertical, pode ter a sua instalação comprometida em zonas urbanas muito consolidadas onde existam outras infraestruturas públicas no subsolo. Este arrefece o ar que atravessa as condutas até chegar ao interior do edifício, com uma temperatura semelhante à do solo (Mourão & Pedro, 2012).

No inverno, a radiação solar deve ser otimizada de forma a tornar-se numa fonte de calor importante que contribua para o aumento da temperatura interior.

“Os sistemas destinados ao aquecimento passivo podem ser caracterizados como aqueles que, fazendo parte integrante da sua estrutura construtiva, desempenham o papel de colectores solares e acumuladores de energia solar neles incidentes e ainda de agente de distribuição da energia-calor por processos naturais de transferência” (Gonçalves & Graça, 2004, p. 34).

A orientação dos vãos apresenta-se benéfica ao quadrante Sul e deve dar-se particular atenção à sua posição e dimensão bem como tipos de vidro, para permitir adequados níveis de iluminação natural (Figura 15). Os vidros de alto desempenho térmico, como é o caso dos vidros duplos, reduzem os ganhos solares (vantajoso no verão mas penalizante no inverno) e contribuem para a redução das trocas de calor entre ambientes interior e exterior (vantajoso no inverno mas penalizante no verão se considerado o clima português) quando comparados com os vidros convencionais.

Deve igualmente garantir-se uma inércia térmica elevada, aliada a um bom isolamento, para que os elementos construtivos possam absorver a energia solar durante o dia, retendo a energia correspondente e libertando o calor acumulado gradualmente durante a noite, permitindo uma estabilização das condições interiores e atenuando a amplitude térmica no interior dos espaços (Rodrigues, 2009) O isolamento térmico é um fator indispensável para alcançar resultados eficazes de eficiência energética, tendo em consideração que pode reduzir significativamente as perdas de calor para o exterior, durante o inverno, e dificultar a passagem desse calor para o interior, no verão. “A redução das perdas e dos ganhos por condução, respetivamente inverno e verão, constitui uma das mais eficazes medidas no sentido de melhorar o conforto térmico no interior dos edifícios” (Gonçalves & Graça, 2004).

Todos estes princípios de construção sustentável devem ser decididos e executados desde o início do projeto de arquitetura até ao fim da construção, permitindo assim aumentar o conforto e reduzir os custos de energia de forma mais eficaz (Silva & Almeida, 2010) (Rodrigues, et al., 2010). A aplicação de medidas de eficiência energética em edifícios existentes é geralmente menos eficaz. Apesar de algumas medidas poderem ser aplicadas nesta situação, estas são claramente mais complexas e mais dispendiosas de implementar. Um projeto bem desenvolvido, do ponto de vista da eficiência energética, pode resultar em consideráveis poupanças ao longo da vida útil do edifício; no entanto, também aqui devem existir verificações periódicas para monitorizar o comportamento do edifício e garantir que a redução do consumo se mantém durante a vida útil (Torcellini, et al., 2006) (Rodrigues, et al., 2010).

Ao condicionar a organização do espaço e as opções formais, é importante realçar que a integração de estratégias solares passivas influencia a própria expressão estética do edifício. “Porém, a integração destas estratégias passivas não apresenta uma gama de soluções únicas e a arquitectura solar passiva, contrariamente ao argumentado por alguns críticos, não tem de ser toda igual” (Mourão & Pedro, 2012, p. 71).



Figura 6 Kiefer Technic's hospital



Figura 7 Edifício Luna – Pormenor do Sombreamento 1



Figura 8 Edifício Luna – Pormenor do Sombreamento 2

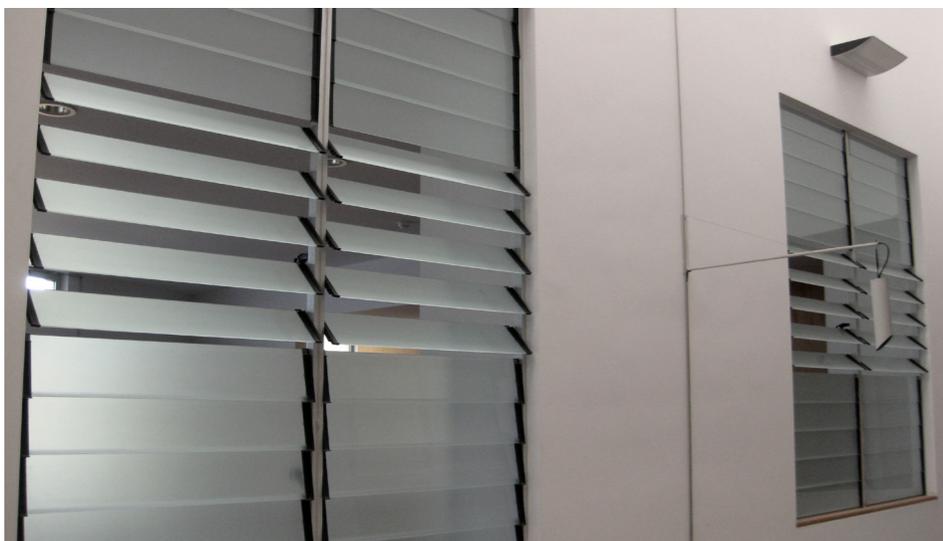


Figura 9 aberturas reguláveis em parede interior do edifício Solar XXI



Figura 10 Aberturas para ventilação no topo do edifício Solar XXI



Figura 11 Fachada Ventilada no Centro Documental da Comunidade de Madrid, Espanha - Arquitetos Mansilia e Tunon (2002) - Fotografia Exterior



Figura 12 - Fachada Ventilada no *Centro Documental da Comunidade de Madrid*, Espanha - Arquitetos Mansilia e Tunon (2002) - Fotografia Interior



Figura 13 - Lago Artificial para Arrefecimento Evaporativo - Data Center da Portugal Telecom - Arquiteto João Luís Carrilho da Graça - Covilhã (2013)



Figura 14 - Poço de admissão de ar do sistema de tubagem subterrânea do edifício Solar XXI

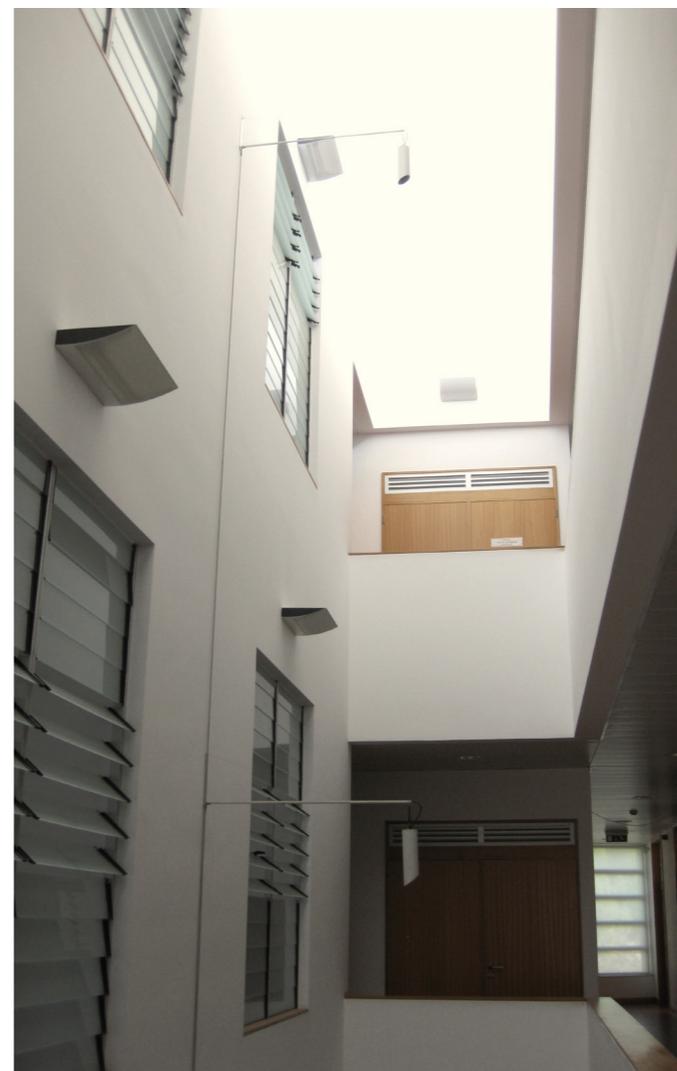


Figura 15 - Iluminação Natural no interior do edifício Solar XXI

Estratégias Ativas

Um dos principais aspetos a considerar nos edifícios ZEB dentro das estratégias ativas, geralmente de maior dimensão, é a ideia de que todas as suas necessidades de energia podem ser satisfeitas através de fontes renováveis (Saari, et al., 2011). *“Medidas para o uso de energias renováveis podem ser tão eficazes como medidas de eficiência energética e por vezes com melhor retorno económico.”* (Höfler, et al., 2014, p. 15). As opções possíveis de serem aplicadas dentro do perímetro da construção são: módulos fotovoltaicos (PV), coletores solares térmicos (ST) e turbinas eólicas de dimensão reduzida (Brajal, 2012). Equilibrar as necessidades energéticas que dependem do clima, como já anteriormente abordado, com o potencial destas opções de produção de energia renovável é possível em Portugal por várias razões. *“O clima é Mediterrânico parcialmente influenciado pelo oceano Atlântico, com Verões quentes e secos e Invernos amenos, sendo a maioria do território português caracterizado por condições climáticas que resultam em necessidades quer de aquecimento quer de arrefecimento”* (Aelenei, et al., 2013, p. 72). Para além disto é um dos países que maior incidência solar tem dentro da Europa sendo que, por esta razão, possui excelentes condições para a geração de energia através de coletores solares ou módulos PV (Casalinho, 2008) (Comini, et al., 2008). Apesar do fraco desempenho energético da generalidade do parque habitacional, Portugal é dos países da UE com um menor consumo energético, em parte devido às características acima referidas (Aelenei, et al., 2013).

O solar fotovoltaico, geralmente designado por PV (*Photo Voltaics*), que converte diretamente a radiação solar em eletricidade, tem vindo a ver aumentada a sua preferência por muitos clientes e construtores e apresenta-se hoje como a fonte de energia renovável mais aplicada em edifícios (Rodrigues, 2009). No entanto, o problema dos custos de produção é ainda um obstáculo relevante à viabilidade económica desta tecnologia, em comparação com os baixos custos dos combustíveis fósseis (Mourão & Pedro, 2012). Apesar disto, é entre as tecnologias de energias renováveis aplicadas a edifícios, das que mais durabilidade apresenta, bem como maior facilidade de integração, instalação,

baixo ruído, controlo e manutenção (Mendes, et al., 2010) (Mourão & Pedro, 2012). São várias as opções dentro desta tecnologia e variam de acordo com a sua cor, eficiência, superfície e custo. Os painéis de silício monocristalino são os mais eficientes (13 a 18%) mas perdem eficiência à medida que as temperaturas sobem e o seu fabrico exige ainda um processo de cristalização lento, caro e difícil. Os painéis de silício policristalino possuem uma eficiência inferior aos painéis monocristalinos (10 a 15%) mas a sua resistência à degradação é maior. As tecnologias de silício amorfo são a opção de eficiência mais baixa (7 a 10%) e de desempenho menos constante mas apresentam-se como a opção mais económica (Mourão & Pedro, 2012).

O aproveitamento consciente da energia solar é hoje perfeitamente compatível com o rigor formal da arquitetura contemporânea e, desta forma, facilmente se integram painéis PV em fachadas ou telhados, substituindo anteriores elementos de revestimento. Exemplo disto é o edifício das residências sociais de Paris dos arquitetos **Emmanuel Saadi e Jean-Louis Rey** (Figura 16) ou mais uma vez o edifício *Solar XXI* onde, para além de outros sistemas, são utilizados módulos de silício multicristalino, instalados na fachada sul do edifício (Figura 17) (Mendes, et al., 2010) (Gonçalves, 2010b). A energia elétrica e o calor gerados são aproveitados para aquecer ou ventilar o espaço interior em conjunto com 95m² adicionais de módulos de silício amorfo instalados no parque de estacionamento do edifício. Em 2010, foram adicionados mais 12kWp de painéis do tipo CIS o que permitiu, em 2011, o edifício *Solar XXI* tornar-se totalmente autossuficiente, ou seja, um NZEB de sucesso que conjuga perfeitamente medidas de eficiência energética com tecnologias de energias renováveis (Mendes, et al., 2012). Uma outra solução são as telhas semiopacas fotovoltaicas que podem gerar energia ao mesmo tempo que proporcionam iluminação natural a um piso superior. No entanto, não podem ser negligenciados os possíveis problemas de conforto interno, devido a sobreaquecimento por iluminação zenital, sendo desta forma necessário assegurar uma ventilação adequada (Alfano & Riccio, 2014).

Uma segunda opção, atualmente muito divulgada e num bom patamar de fiabilidade e conhecimento em Portugal, é a energia solar térmica (Mendes, et al., 2010). Os coletores são

dispositivos utilizados para converter a radiação solar em energia térmica, que aquece água armazenada em depósitos termicamente isolados (Rodrigues, 2009). A escolha da dimensão dos painéis não deve ser feita em função das necessidades de energia nos meses de inverno, sendo que isso iria implicar um excedente considerável durante o verão. Desta forma, é necessário recorrer ao apoio da rede pública ou de sistemas convencionais, como por exemplo caldeiras a gás (Comini, et al., 2008). O centro de coordenação operacional da Brisa do arquiteto João Luis Carrilho da Graça é um excelente exemplo de utilização de coletores solares integrados na arquitetura. (Figura 18)

Ao contrário das tecnologias anteriormente descritas, que necessitam dos meses quentes para obter melhores rendimentos, a energia eólica usufrui dos meses frios para alcançar os picos máximos de produção de energia (Rodrigues, 2009). Por outro lado, esta energia é produzida predominantemente à noite, nas horas de vazio das necessidades energéticas, representando uma diminuição da rentabilidade global do sistema (Mendes, et al., 2010). A tecnologia traduz-se pela ação e energia do vento que permitem a rotação de um eixo (energia mecânica), colocando em funcionamento um gerador onde os seus campos magnéticos convertem a energia rotacional em eletricidade (Comini, et al., 2008). Existe uma grande diversidade de dimensões e potências, sendo que as pequenas turbinas com menos de 5kW podem servir para alimentar edifícios, desde que existam condições climatéricas favoráveis no local de implantação (Comini, et al., 2008). Por fim, a aplicação desta tecnologia em zonas urbanas consolidadas não é aconselhável, devido à possível existência de padrões irregulares de vento (Mendes, et al., 2010).

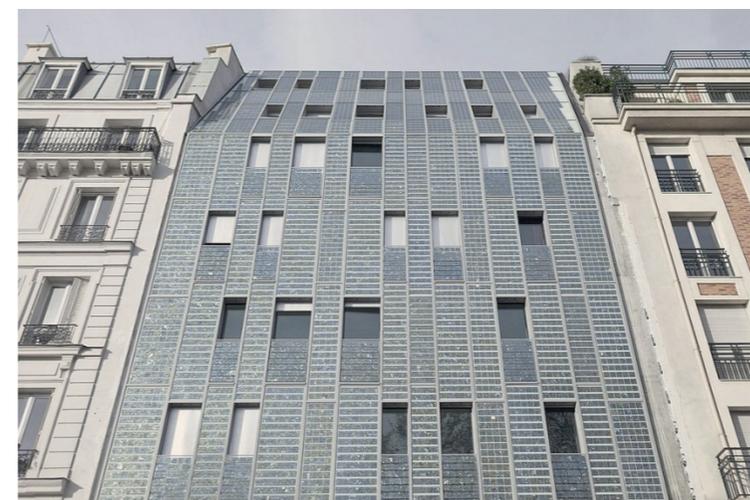


Figura 16 Residências sociais e Paris dos arquitetos *Emmanuel Saadi e Jean-Louis Rey* – Paris, França (2011)

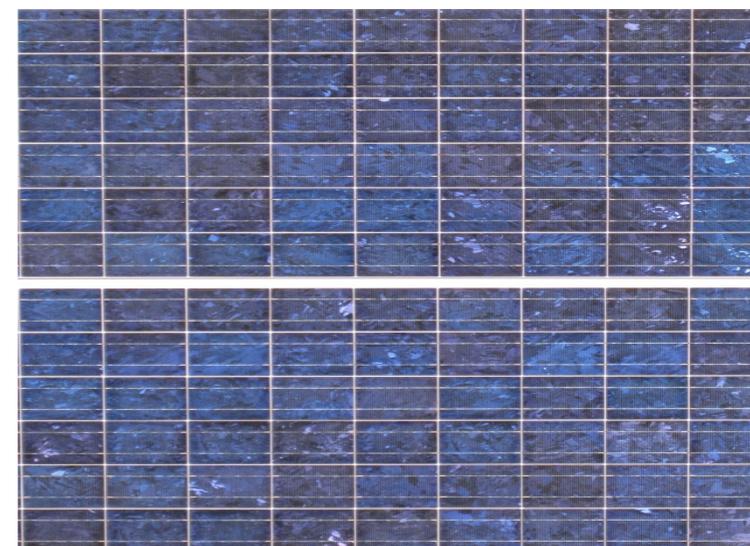


Figura 17 - Módulos de silício multicristalino, instalados na fachada sul do edifício Solar XXI



Figura 18 Centro de coordenação operacional da Brisa - Arquiteto João Luis Carrilho da Graça (2004)

Caso de Estudo: Museu da Cidade de Setúbal

Definição de Estratégias de Eficiência Energética para otimização do edifício

Neste capítulo, serão abordadas soluções construtivas possíveis de ser aplicadas como resposta a estratégias de eficiência do projeto, previamente definidas, sem que com isso se prejudique a integração em arquitetura e o conforto térmico interior. Tendo em consideração que cada espaço merece uma preocupação específica no que respeita à otimização energética, decidiu-se pensar o edifício por zonas térmicas. Cada zona define um determinado espaço ou conjunto de espaços com especificidades próprias, determinando a orientação, condições de conforto, ventilação, inércia térmica, incidência solar, existência ou não de sistemas de climatização e padrões de ocupação. À exceção dos Gabinetes Técnicos, que são espaços de permanência, todas as restantes zonas são espaços importantes do museu com forte afluência de público.

Segundo Gonçalves & Graça, o clima de Setúbal enquadra-se dentro de uma zona climática com as seguintes características:

“A um Verão mais exigente que o Inverno deve corresponder uma arquitectura defendida da radiação solar. É importante dotar os edifícios de níveis adequados de isolamento. Envidraçados deverão ser dotados de sombreamentos muito eficazes.” (Gonçalves & Graça, 2004, p. 32)

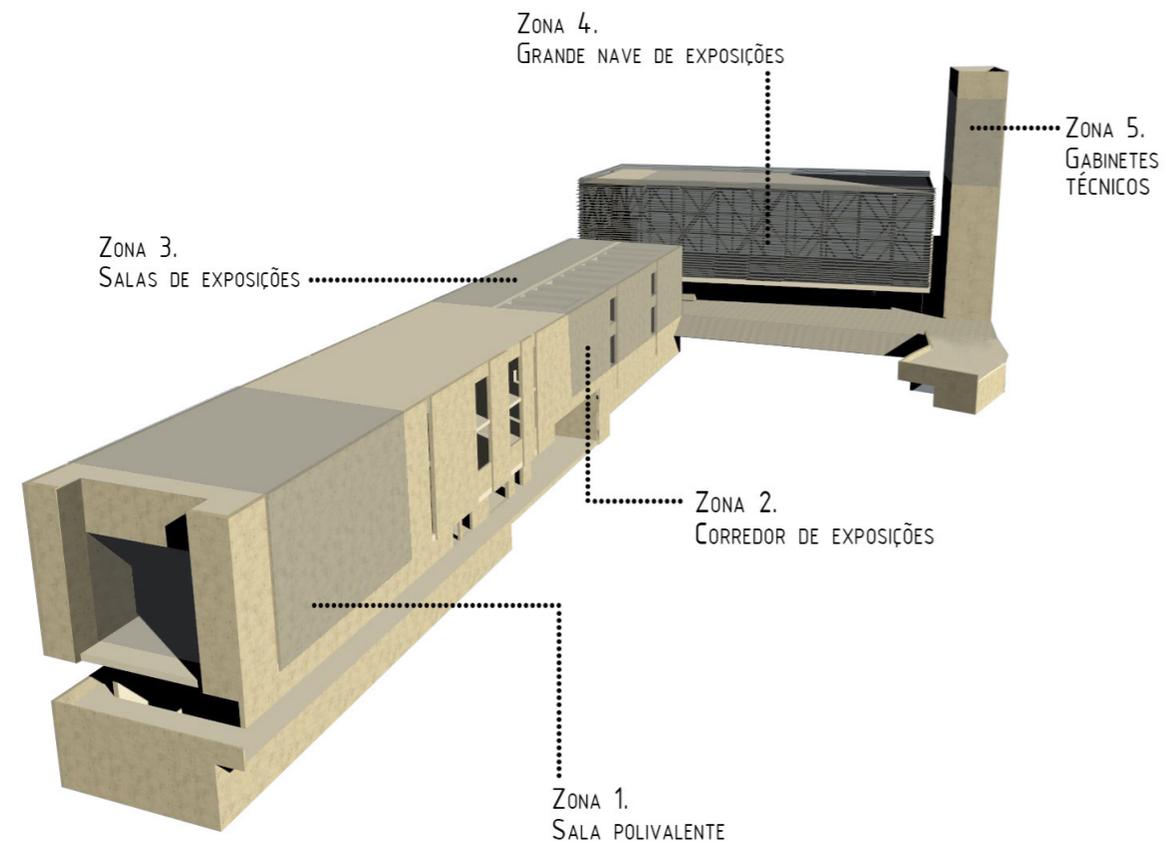
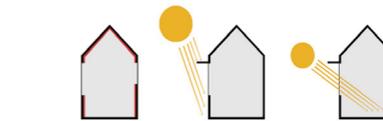
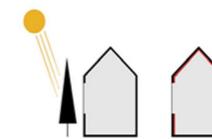


Figura 19 – Esquema de distribuição das zonas no projecto

Z.1 – SALA POLIVALENTE



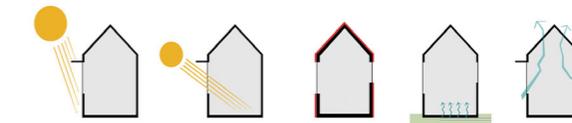
Z.2 – CORREDOR DE EXPOSIÇÕES



Z.3 – SALAS DE EXPOSIÇÕES



Z.4 – GRANDE NAVE DE EXPOSIÇÕES



Z.5 – GABINETES TÉCNICOS



Figura 20 – Estratégias de Eficiência por zonas térmicas. Da esquerda para a direita: Z1 - Bom Isolamento dos Elementos da envolvente; Sombreamento do envidraçado no verão; Ganhos Solares de inverno. Z2 – Sombreamento por vegetação; Bom Isolamento dos Elementos da envolvente. Z3 - Bom Isolamento dos Elementos da envolvente com materiais que garantam uma boa inércia térmica. Z4 - Sombreamento dos envidraçado no verão; Ganhos Solares de inverno; Bom Isolamento dos Elementos da envolvente; Tubos enterrados; Ventilação Natural por efeito chaminé; Z5 - Sombreamento dos envidraçados; Bom Isolamento dos Elementos da envolvente; Ventilação Natural por efeito chaminé

Zona 1 – Sala Polivalente

Objetivos

Um dos objetivos da sala polivalente consubstancia-se na necessidade de obter uma permeabilidade de vistas entre o interior e o exterior, através do seu grande vão envidraçado orientado a sul. É importante que os espectadores possam admirar a vista a partir do interior, sem que com isso sejam incomodados pelo excesso de luz direta ou indireta que possa eventualmente ser refletida pelas superfícies exteriores à sala. Face à orientação do envidraçado, benéfica tanto no verão como no inverno, torna-se importante equilibrar situações de possível aquecimento excessivo, por incidência solar direta no verão, com uma necessidade de obter ganhos solares de inverno. De forma a garantir uma amortização das variações exteriores da temperatura, é importante dotar os elementos da envolvente de bom isolamento térmico e de materiais construtivos com baixo índice de condutibilidade térmica.

Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas

De forma a restringir ganhos solares no verão mas a promovê-los no inverno, foram estudadas duas soluções (Figura 19). Uma primeira solução apresenta a cobertura do edifício como uma pala de sombreamento sobre uma superfície envidraçada recuada. A segunda solução apresenta um sombreamento feito por um volume elevado de 3 metros de profundidade por 3,5 metros sobre o vão envidraçado. Funcionalmente ganha-se espaço para depositar os aparelhos de AVAC correspondentes ao aquecimento e arrefecimento desta sala, já que as estratégias passivas não são suficientes para anular esta necessidade. Ambas as soluções apresentam a cobertura recuada em relação às paredes laterais, de forma a promover a captação de ganhos solares, ao mesmo tempo que as paredes minimizam o impacto da luz rasante no interior da sala.

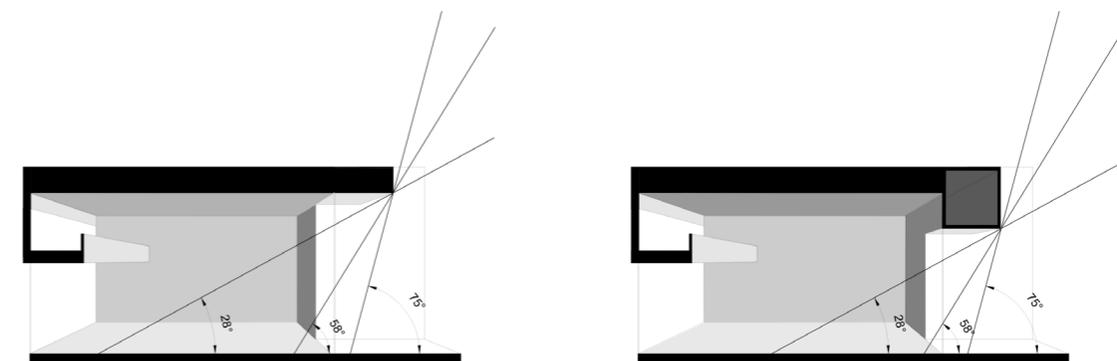


Figura 21 – Solução 1 (à esquerda) e Solução 2 (à direita)

De forma a definir um período de tempo para sombreamento do vão, averiguou-se, através das temperaturas médias exteriores diárias do clima de Setúbal, a partir de que data a temperatura igualava os 25°C, valor de referência para o conforto de verão.

Concluiu-se que 7 de abril é o primeiro dia em que esta situação se verifica. Garantir um sombreamento total a partir desta data implica também um sombreamento total até 4 de setembro (dia em que a altura solar é idêntica à de dia 7 de abril). A altura solar relativa ao meio-dia solar correspondente a estas datas é de 58°. Por outro lado, a altura solar correspondente aos dias 21 de junho e 21 de dezembro é de, respetivamente, 75° e 28°. Tendo as datas correspondentes ao sombreamento desejado, bem como os solstícios de verão e inverno como referência, é possível chegar às seguintes conclusões:

- Na solução 1 não existe área de vão exposta a incidência solar direta a 21 de junho. Nas datas para sombreamento, a área de vão exposta corresponde a 52,5m², revelando-se uma solução pouco conveniente para o período de verão, já que não assegura um sombreamento adequado numa altura em que ainda existem temperaturas elevadas. A 21 de dezembro a área de vão exposta é de 84m². Apesar da área de vão exposta para ganhos solares se revelar muito significativa, devido ao facto do plano envidraçado corresponder à altura de pé-direito total da sala (9,70 metros), verificou-se também que esta opção iria trazer uma intensidade de luz excessiva para o espaço.

- Na solução 2 também não existe área de vão com incidência solar direta a 21 de junho. Nas datas limite para sombreamento, a área de vão exposta corresponde a 28.8m², valor ainda demasiado expressivo, embora muito abaixo da solução anterior. A 21 de dezembro, a área de vão exposta é de 60,3m², representando um valor menos expressivo comparando com a solução anterior, no entanto, ainda significativo numa altura em que a captação de ganhos solares se torna muito necessária.

Tendo em conta as temperaturas elevadas de setembro e considerando que é mais difícil garantir conforto de verão com entrada de radiação do que conforto de inverno sem radiação e, por outro lado, que será uma sala com ocupação temporária, decidiu optar-se pela solução 2, já que esta privilegia o período de verão, em vez de privilegiar o período de inverno como acontece na solução 1. Mesmo não sendo uma solução que promova um sombreamento total, de 7 de abril até 4 de setembro, obtém apesar disso uma boa área de vão exposta a 21 de dezembro. Por último, apresenta-se igualmente como uma boa solução do ponto de vista formal, uma vez que o remate do edifício ganha uma expressão que antes não tinha. Mesmo optando pela solução que previa maior sombreamento, torna-se necessário criar medidas para controlar a incidência solar que se verificou entrar no período definido para sombrear o vão. A radiação solar direta pode tornar-se num problema, ainda mais preocupante, se a sala estiver organizada com os espectadores de frente para o envidraçado. Assim, interessa propor várias opções que, em conjunto, consigam resolver o problema. Numa primeira abordagem, considera-se uma possibilidade mover o palco para uma lateral da sala, de forma a reduzir o impacto da luz nos

espectadores. Propõe-se igualmente a colocação de um sistema fixo de persianas do lado exterior do vidro e a instalação de uma cortina de fundo, que permita encerrar por completo a luz na sala caso seja necessário. A sala poderá assim adaptar as suas necessidades à intensidade de luz que se pretende obter. Exemplo disso é a grande sala do auditório da Gulbenkian que, apesar de ter sistemas de sombreamento no exterior, apenas tem a sua cortina de fundo aberta em alturas do dia em que a intensidade de luz o permite.

Zona 2 – Corredor de Exposições

Objetivos

Esta zona define um conjunto de patamares e espaços de circulação, iluminados quase exclusivamente pela fachada nascente e cobertura. A orientação da fachada é problemática no inverno, dado que pouca radiação permite captar quando esta é necessária, pois tal acontece apenas durante um curto período da manhã. É problemática também no verão, recebendo incidência direta durante longas horas neste mesmo período do dia. De forma a sustentar um bom conforto térmico interior, sem consumir muita energia para aquecimento e arrefecimento, interessa apenas controlar o excesso de radiação solar direta no período de verão, tendo em consideração que no inverno a captação de ganhos solares se admite residual. Assim como nas restantes zonas, é importante a criação de estratégias que permitam restringir os ganhos e as perdas por condução.

Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas

O controlo da radiação solar direta nesta zona foi estudado através de diferentes propostas onde se incluem: palas de betão salientes no exterior, no interior, ou em ambos os casos. A dificuldade destes elementos em criar diálogo com uma arquitetura que, formalmente, sempre procurou uma leitura de clareza nos seus elementos construtivos ditou o desfecho desta proposta. A solução escolhida passa por utilizar a copa das árvores (plátanos) para sombrear os envidraçados, de forma a evitar o sobreaquecimento destes espaços durante o verão. Esta opção é igualmente benéfica no inverno, uma vez que a ausência das folhas possibilita a entrada da radiação solar. Se por um lado esta solução implica que se perca alguma profundidade na leitura exterior a partir do museu, por outro, ganha pela simplicidade da sua realização, em que apenas se torna necessário proceder à sua correta implantação.

Tendo presente que a orientação solar dos vãos a nascente não possibilita promover ganhos solares de inverno, da forma que seria desejável, é através da otimização térmica dos elementos da envolvente que se consegue melhorar o conforto térmico interior. O isolamento é colocado do lado interior das paredes de betão, mas exteriormente às lajes da cobertura. A escolha do isolamento pelo interior das fachadas resume-se à necessidade do edifício aparentar exteriormente a materialidade do betão à vista.

Zona 3 – Salas de Exposições

Objetivos

As salas de exposições são pequenos espaços com áreas entre os 48m² e os 32m² e uma ocupação média de 5 pessoas por sala. Estes espaços distinguem-se das restantes zonas do edifício por não terem qualquer fachada exterior. Interessa, deste modo, arranjar soluções que evitem o consumo de energia elétrica para a iluminação das salas, sendo que esta deverá entrar nos espaços de forma difusa e permitir que possa ser bloqueada, caso interesse alterar a função das salas. Como sucede em quase todas as zonas, interessa de igual forma restringir perdas e ganhos por condução através dos elementos da envolvente.

Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas

Propõe-se para esta zona uma solução que passa por definir as salas do 1º piso como salas interativas, que não necessitem de grande intensidade de luz, e as do 2º piso como salas de exposição para peças de reduzida dimensão. Neste caso, já são necessárias estratégias para incluir a iluminação natural no interior dos espaços. Em primeiro lugar, interessa tirar partido da luz difusa vinda da cobertura do corredor de exposições, aumentando as aberturas que dão acesso às salas. Em segundo lugar, propõe-se a abertura de vãos para entrada de luz zenital, situadas na extremidade poente de cada sala. De forma a otimizar termicamente a envolvente, é importante garantir um bom isolamento térmico pelo exterior da cobertura, já que é o único elemento que contacta com o ambiente externo. A existência de uma grelha metálica sobre os espaços técnicos, onde se situam os aparelhos de AVACS, que se situam sobre as salas, constitui uma primeira camada de sombreamento à cobertura e unifica arquitetonicamente todo aquele terraço técnico.

Zona 4 – Grande Nave de exposições

Objetivos

A grande nave de exposições representa um ambicioso desafio neste trabalho teórico, devido às complexas características do espaço e aos múltiplos objetivos que, por essa razão, se colocam. Uma das mais importantes características do espaço é a sua flexibilidade, permitindo a exposição de grandes peças ou realização de eventos, dando sempre a possibilidade ao visitante de olhar a cidade que o rodeia. Valoriza-se assim uma permeabilidade de vistas do interior para o exterior, através de grandes envidraçados, dando especial enfoque à relação visual que pode ser estabelecida através da fachada sul entre museu e jardim. O conceito de domínio da luz sólida, trabalhado no edifício das exposições permanentes, dá assim lugar ao conceito da transparência total de luz nesta grande nave de exposições. Embora se reconheça a capacidade do arquiteto em controlar a luz que tudo inunda, evitando que esse excesso dissolva a tensão da arquitetura, a escolha recaiu sobre uma transparência total que reforça a flexibilidade do espaço, as vistas e a sua leveza interior e exterior. Tendo a grande sala superfícies envidraçadas de grandes dimensões, torna-se assim importante proteger o interior da radiação solar direta no verão e potenciar os ganhos solares de inverno para aquecimento, sem nunca perder a relação de vistas pretendida. As peças em exposição não devem receber radiação solar direta, mesmo que a entrada dessa radiação solar favoreça o aquecimento da sala, quando as temperaturas exteriores forem baixas. Para que no inverno este calor ganho na fachada Sul não seja tão facilmente perdido pela fachada Norte, é necessário criar estratégias que visem a redução das transferências de calor. Dentro dos sistemas passivos de arrefecimento, interessa ventilar o edifício de forma a fazer a evacuação dos ganhos de calor acumulados pelas fachadas envidraçadas.

Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas

De forma a dar resposta à necessidade de se sombrear o edifício de verão e potenciar os ganhos solares de inverno, mantendo a permeabilidade de vistas pretendida, tornou-se clara a necessidade de incorporar palas de sombreamento horizontais fixas. Foram pensados dois critérios: um primeiro relativo à forma como os dispositivos de sombreamento se apresentam no edifício e um segundo relativo ao seu período de sombreamento.

No primeiro critério, salienta-se que as palas deveriam estar organizadas de modo a permitir ganhos solares de inverno, isto a uma cota da fachada que permitisse ter uma área de exposições sem qualquer tipo de radiação solar direta. A restante fachada deveria apresentar dispositivos de sombreamento que, a uma cota mais baixa, bloqueasse por completo a entrada de radiação solar no inverno. No verão, tanto os dispositivos de sombreamento da parte superior da fachada como da parte inferior deveriam impedir a entrada de radiação direta.

Chegou-se posteriormente à conclusão de que a área de fachada para ganhos solares de inverno, através de uma altura solar de 28°, sem ter incidência direta no pavimento, era insuficiente face à dimensão do edifício. Nesta altura do processo de trabalho, foi pensada a intenção de abdicar de algum sombreamento, de forma a conseguir aumentar a área de fachada que permite a captação de ganhos solares, mesmo que isso implicasse alguma incidência direta nos espaços de circulação durante o período de inverno. A existência de uma fachada de dupla pele com o objetivo de reduzir as perdas de calor vem reforçar a ideia de que é necessário potenciar os ganhos de inverno na fachada toda e não apenas na parte superior, já que a dupla fachada ventilada necessita dessa radiação para manter o espaço de ar a temperaturas elevadas ou para criar efeito de convecção. De forma a evitar incidência solar direta nas peças em exposição, propõe-se a colocação de palas interiores em acrílico que permitam uma refração da luz, tornando-a difusa.

Num segundo critério, foram determinadas duas possíveis datas de sombreamento total para a fachada Sul:

- de 12 de março a 30 de setembro, com uma altura solar correspondente a 47°. O dia 30 de setembro é a data final relativa ao período regulamentar de verão; a data de 12 de março é o momento em que se verifica a mesma altura solar. Esta opção não é vantajosa para o inverno, pois a 12 de março ainda existem temperaturas relativamente baixas em que se necessita de alguma radiação solar interior.

- de 7 de abril a 4 de setembro, data já utilizada na Zona 2 deste exercício e com uma altura solar correspondente a 58°. Esta opção, por outro lado, não é vantajosa para o verão, porque em setembro ainda existem temperaturas altas em que se necessita de sombreamento.

À semelhança do que acontece no espaço polivalente, é mais difícil garantir conforto de verão com entrada de radiação do que conforto de inverno sem radiação. Assim, propõe-se um sombreamento total com base nas datas de 12 de março a 30 de setembro. A particularidade de ser um edifício com ocupação temporária com mais uso nos meses de verão, por se tratar de um museu, também influencia na decisão.

Determinou-se então o espaçamento entre palas na fachada Sul, correspondente ao período definido para sombreamento, através da expressão: $[h = \text{tg}47^\circ \times l]$, em que h corresponde ao afastamento vertical entre palas [m], e l corresponde à largura da pala (afastamento da extremidade exterior ao plano da fachada) [m].

Deste modo, dimensiona-se o espaçamento das palas que responde à necessidade de bloquear a entrada de luz, de 12 de março a 30 de setembro, e de permitir que a mesma entre (ainda que parcialmente, em função do período do ano) no restante tempo, com vista à obtenção de ganhos solares.

Os resultados são apresentados pela seguinte tabela:

Ângulo de Incidência = 47°	
Largura das Palas (m)	Afastamento entre Palas (m)
0,40	0,428
0,35	0,375
0,30	0,322
0,25	0,268
0,20	0,214

Tabela 1 – Largura e Afastamento das palas de sombreamento para um ângulo solar de 47°

A intenção de se obterem diversas larguras e afastamentos entre palas, em vez de se optar por uma única solução que pudesse ser replicada por toda a fachada, tem origem num propósito meramente formal, já que a otimização destes dispositivos não é posta em causa. O resultado que se apresenta, para além de responder às necessidades de se obter um bom conforto térmico gastando o menos possível em energia, traduz-se igualmente num interessante jogo de ritmos e densidades possibilitado pelos diversos tipos de palas (Figura 20).

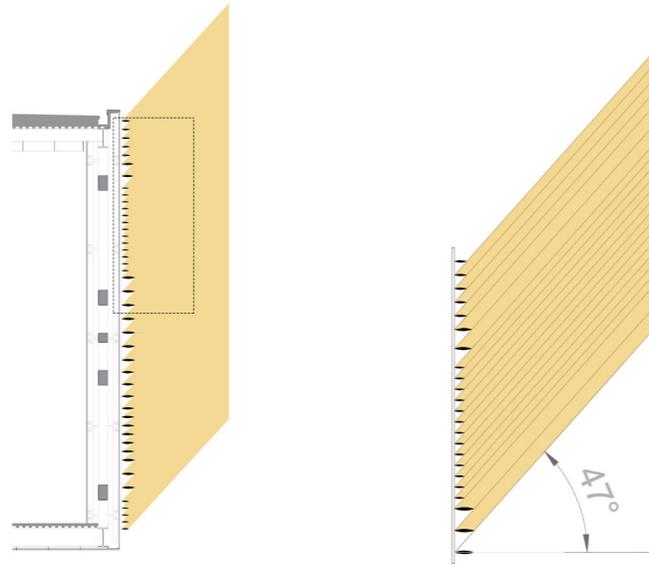


Figura 22 – Dispositivos de sombreamento na fachada Sul do edifício da Grande Nave de Exposições

A existência de dispositivos de sombreamento horizontais nas restantes fachadas do edifício, justifica-se única e exclusivamente por uma necessidade de unificar formalmente todo o conjunto. No caso da fachada poente, uma parede interior em betão evita que a radiação passe para a área expositiva; a fachada nascente é protegida pela torre dos gabinetes e a fachada Norte tem uma exposição nula ou praticamente residual. Nestas fachadas, as palas de sombreamento têm menores densidades que na fachada Sul, no entanto, isso causou perda de contraste entre os vários tipos de palas. De forma a contornar este problema, aumentou-se progressivamente o afastamento nas mais espaçadas entre si e aumentou-se pouco esse afastamento nas menos espaçadas, aumentando a sensação de contraste entre palas.

No que respeita à fachada de dupla pele, é de salientar que a sua utilização se justifica apenas na fachada Sul, como medida de aquecimento no período de inverno, de forma a atenuar as perdas térmicas e a possibilitar ganhos passivos devido à radiação solar. A Nascente e a Poente, a incidência solar é de reduzida intensidade durante o inverno e a Norte apenas se justifica caso o sistema de ar condicionado coloque ar quente dentro da fachada ventilada, de forma a reduzir as perdas térmicas. O problema de ter uma fachada Norte também envidraçada reside nessa dissipação do calor pela fachada, uma vez que o coeficiente de transmissão térmica do vidro é muito elevado, quando comparado com uma parede convencional com isolamento térmico.

Do ponto de vista formal, interessa até que essas fachadas de dupla pele possam ser incorporadas em várias orientações, já que poderiam esconder dentro da sua caixa de ar as treliças metálicas que compõem a estrutura desta sala, devidamente afastadas do vidro para que possa existir circulação de ar. As fachadas de dupla pele são assim incorporadas a Sul e a Norte do edifício e exclui-se por completo a possibilidade de incorporar o mesmo sistema nas outras orientações. A necessidade de formalmente obter um interior uniformizado não pode sobrepor-se às eventuais consequências de colocar fachadas de dupla pele em orientações pouco recomendáveis para esse efeito.

No verão e nas meias estações, e tendo em conta a localização do edifício que faz barreira aos ventos fortes e predominantes de Noroeste, as fachadas duplas contribuem para a ventilação natural, através de aberturas de admissão de ar distribuídas de forma a garantir a melhor distribuição possível ao longo do volume da sala. A extração de ar quente ocorre no topo da grande nave, através de uma claraboia motorizada localizada no centro da cobertura, permitindo arrefecer o edifício quando as temperaturas exteriores estiverem mais baixas que as temperaturas interiores ou resfriar o edifício durante a noite (Figura 21).

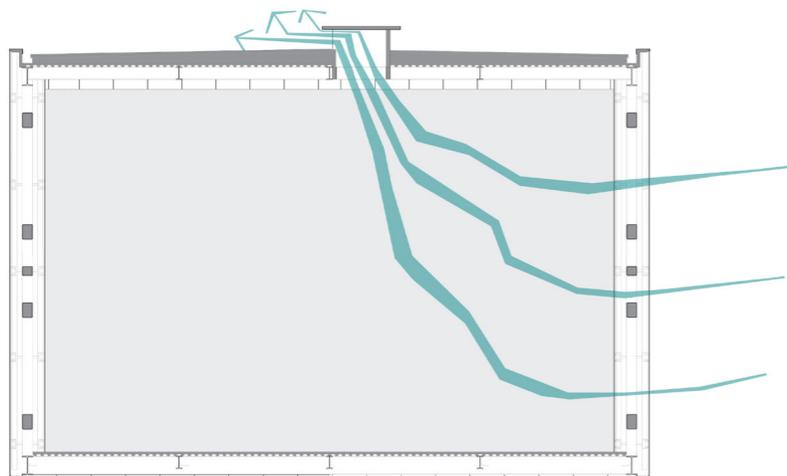


Figura 21 – Arrefecimento do edifício por ventilação natural

Durante o dia, no inverno, as aberturas estão fechadas de modo a aumentar a temperatura interior da caixa de ar da fachada de dupla pele e, com isso, aquecer o interior da sala ou reduzir as perdas de calor. Já no verão, podem existir momentos em que as temperaturas exteriores sejam tais que a ventilação natural do volume de ar da sala implicaria um ganho excessivo de calor. Neste caso, e como alternativa ao esquema de ventilação natural, são abertas as aberturas na base e no topo da camada exterior da fachada dupla; promove-se assim a ventilação por convecção natural e a correspondente redução de temperatura, do espaço de ar da fachada dupla. O objetivo é o de reduzir os ganhos de calor por condução através do pano de vidro interior (Figura 22).

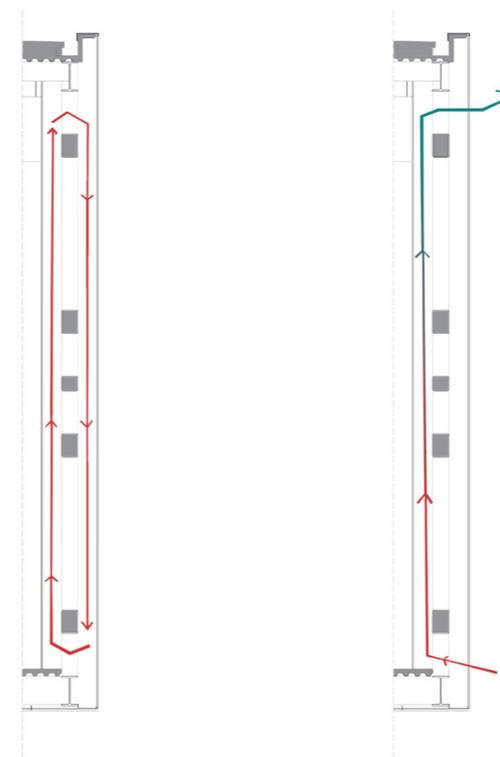


Figura 24 – Fachada de Dupla pele – Esquema de circulação do ar no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita).

De forma a reduzir as transferências de calor, propõe-se dotar a cobertura e o pavimento com isolamento térmico pelo exterior. O pavimento tem por baixo do seu grande vão o ambiente exterior, pelo que a não colocação de isolamento neste elemento construtivo representaria uma área de perda de calor bastante significativa. A superfície que mais vai influenciar o conforto térmico interior, através da energia radiante,

é justamente o pavimento, razão pela qual a temperatura superficial deste piso não pode ser baixa. Por outro lado, um pavimento em betão poderia ser uma opção adequada, tendo em conta que, por um lado, é útil no verão pela inércia térmica e, por outro, faz alusão às antigas naves industriais de Setúbal, intenção essa sempre procurada para esta sala. De forma a resolver a temperatura superficial, propõe-se que este pavimento possa ser dotado de um sistema de aquecimento radiante em tubagem de água quente.

Ainda dentro das estratégias de arrefecimento, e como complemento às já definidas, propõe-se a instalação de um sistema de tubos enterrados que aproveita o jardim para aí edificar as infraestruturas necessárias (poço de admissão de ar e tubagem subterrânea). Estes tubos (30cm de diâmetro) percorrem o jardim e acedem ao edifício no piso enterrado, em tubagem plástica, já que aqui deixa de ser necessário promover as trocas de calor. Percorrem um teto falso até chegar a um ducto, sendo a distribuição do ar efetuada diretamente na grande sala de exposições do lado nascente. (Figura 23).

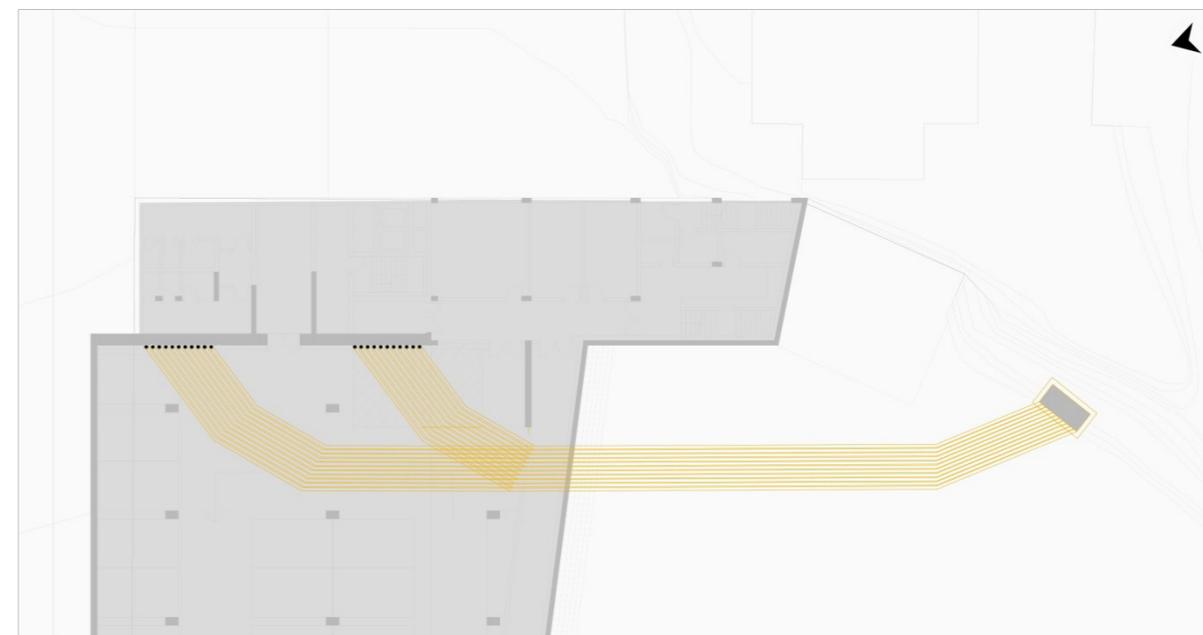


Figura 25 - Traçado entre o poço de admissão de ar e o interior do edifício.

Foi ainda ponderada a possibilidade de incorporar grandes elementos que promovam a inércia térmica dentro da sala, como estratégia de aquecimento noturno deste espaço e de redução do impacto dos ganhos de calor no verão. Esta possibilidade não foi desenvolvida por duas razões: primeiro, a energia que seria necessária acumular durante o dia para libertar durante a noite teria de ser muito considerável face à dimensão da sala; segundo, essa energia absorvida já não iria poder ser utilizada durante o dia, quando é necessária para o aquecimento da sala.

Zona 5 – Gabinetes Técnicos

Objetivos

Os gabinetes técnicos são espaços de ocupação permanente com 75m² de área de pavimento por piso. Dos 5 pisos que compõem os gabinetes, os primeiros 4 têm uma ocupação média de 30 pessoas por piso e o último, correspondente ao da administração, uma ocupação média de 5 pessoas. Tendo em conta a localização estratégica dos gabinetes, a uma cota mais elevada que a grande nave, é possível dotar as salas de boas vistas para a cidade de Setúbal. Devido à orientação dos vãos a poente, deverão ser incluídas estratégias que assegurem um correto sombreamento dos envidraçados, de forma a evitar situações de sobreaquecimento nos gabinetes, sem que com isso se prejudique a permeabilidade de vistas pretendida. O arrefecimento noturno dos gabinetes deverá ser feito com recurso a estratégias de ventilação natural.

Estratégias de Eficiência/Soluções Arquitetónicas

Os gabinetes de ocupação diurna permanente interagem diretamente com uma fachada orientada a poente que, não sendo de todo a solução desejada, foi a única possível, tendo em conta a configuração do edifício e a intenção de ter uma fachada Sul e Norte cegas que clarificassem a leitura formal do conjunto. Posto isto, e considerando que a orientação a poente é prejudicial, tanto no inverno como no verão, interessa atenuar o excesso de radiação direta, num período em que a captação de ganhos solares não é necessária, através de um sistema de sombreamento ajustável pelo exterior. A opção de colocar este sistema de palas ajustáveis pelo exterior é fundamental para o período de verão, na medida em que minimiza a incidência direta nos vãos. Desta forma, para além da necessidade de sombrear de

acordo com as alterações diárias e sazonais, vai ao encontro da linguagem já usada na zona anterior e que, por este facto, se apresenta como uma melhor opção face às comuns persianas interiores.

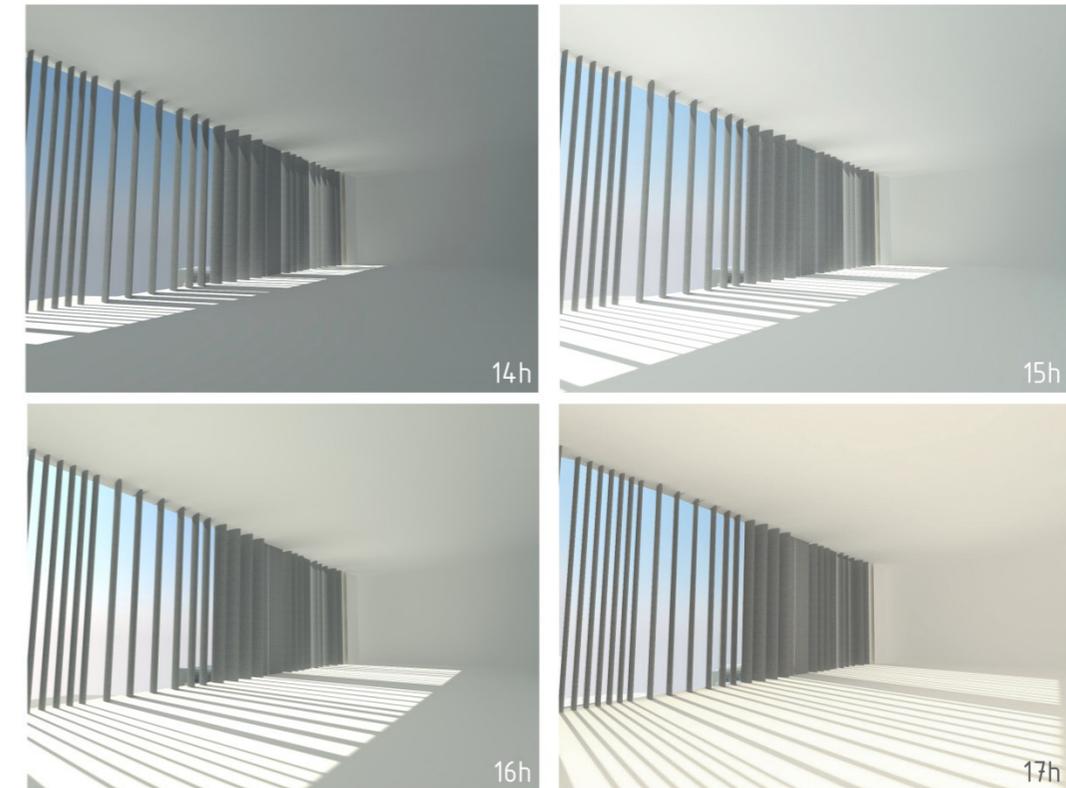


Figura 26 – Palas de Sombreamento e Intensidade de Luz nos Gabinetes técnicos no dia 21 de Junho das 14h às 17h.

Face à tipologia em causa e às amplitudes térmicas significativas no verão, é possível ventilar os gabinetes através de aberturas na fachada poente e a criação de uma chaminé solar que permite uma ventilação ascendente por convecção natural.

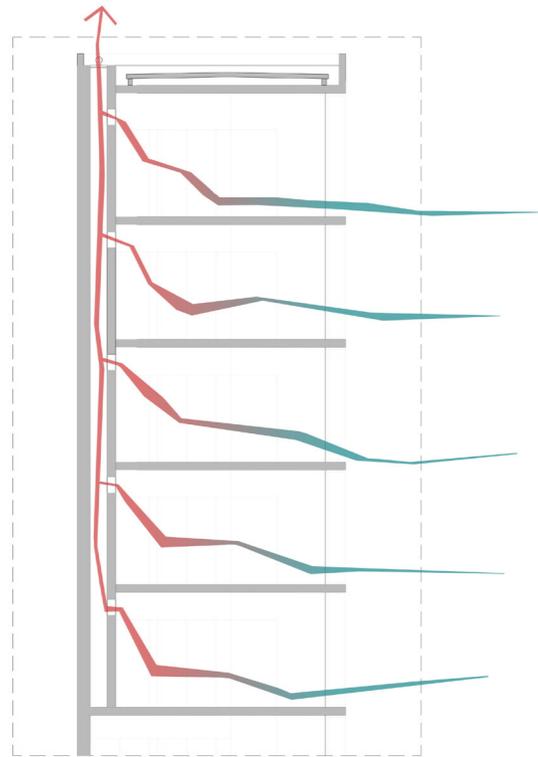


Figura 27 - Ventilação ascendente por convecção natural nos vários pisos dos gabinetes.

No que respeita à iluminação, esta consegue abranger a totalidade dos gabinetes visto que, à exceção da administração, não são incluídas paredes divisórias. No caso da administração (último piso), a iluminação do corredor faz-se através de bandeiras translúcidas colocadas nas portas, evitando ao máximo a utilização de iluminação artificial.

Simulações de diversos tipos de soluções construtivas

De modo a avaliar de forma precisa o impacto de diversas soluções construtivas, foi efetuado um estudo da avaliação térmica e energética do edifício a partir de modelos desenvolvidos para cada zona a analisar. Para o estudo e análise do comportamento térmico e energético do edifício, recorreu-se ao programa Ecotect Analysis 2011, desenvolvido pela Autodesk. A partir de um ficheiro climático de Setúbal e com os dados relativos à geometria de cada zona, propriedades termofísicas dos materiais construtivos, padrões de ocupação, sistemas e regimes de climatização foi possível chegar a conclusões relativas aos recursos (Wh) necessários para arrefecimento e aquecimento ao longo do ano nas zonas climáticas do edifício. O cálculo é feito única e exclusivamente com base na análise de perdas e ganhos de calor por condução a partir dos elementos construtivos, não estando incluídas questões como por exemplo a inércia térmica ou a ventilação, que poderiam alterar os resultados apresentados.

Tendo em consideração que estas zonas vão precisar sempre de aquecimento e arrefecimento mecânico face à dimensão do edifício, considerou-se para efeitos de simulação a utilização de um sistema de ar condicionado. Os sistemas de aquecimento e arrefecimento foram estimados para funcionar apenas durante os períodos de ocupação efetiva (10h – 19h). Quanto ao nível dos caudais de infiltração, optou-se por considerar o valor médio definido pelo programa (1.0 rph).

À parte das conclusões que se podem tirar para cada zona específica, existem situações comuns a salientar, tendo sido utilizado para esse efeito a zona 1 como exemplo. Em termos dos elementos opacos da envolvente, optou-se para todas as zonas (à exceção da grande nave) pela utilização de paredes de betão 25 cm, isoladas pelo interior com 5 cm de poliestireno expandido e alvenaria de 11 cm, o que corresponde a um coeficiente de transmissão térmica, $U=0,55 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Para as superfícies envidraçadas, foram considerados vidros duplos, $U=2.410 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e para as coberturas, betão 15 cm (laje colaborante) com 6 cm de Isolamento, $U=0.380 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Quanto aos pavimentos, o sistema

construtivo varia consoante haja ou não áreas de perda de calor. A solução base de cada zona analisada diz respeito aos sistemas construtivos acima referidos. Todos os valores em wh abaixo referenciados foram arredondados, de forma a garantir clareza na informação, estando os valores reais presentes nos anexos.

Zona 1:

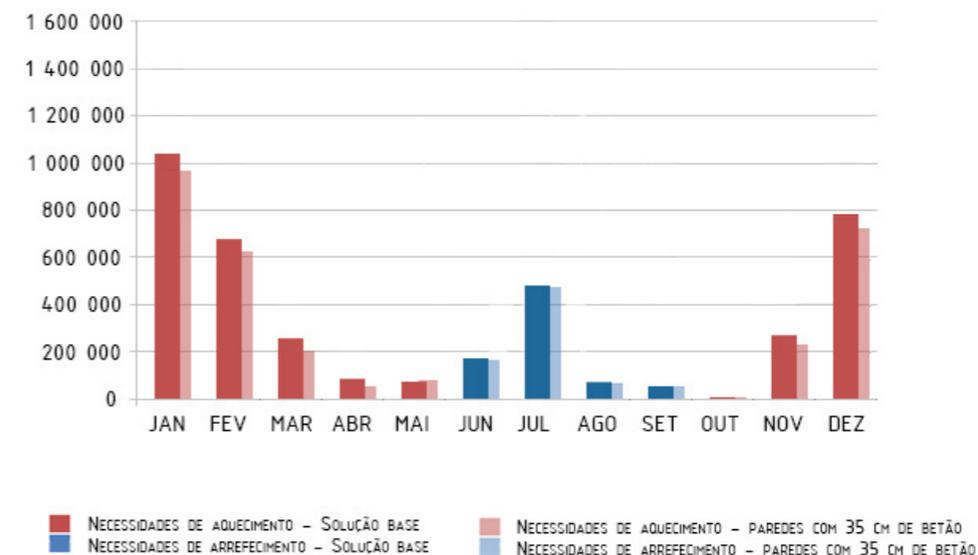


Gráfico 1 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que as paredes de betão passam de 25cm para 35cm.

A seguinte análise permite verificar que, através do aumento de 10 cm no betão, alcançam-se poupanças relativamente significativas em necessidades de aquecimento (253 000 wh), mas absolutamente residuais (1700 wh) em necessidades de arrefecimento. Mesmo partindo do princípio que a redução energética se consegue a partir de um correto dimensionamento do isolamento térmico, a análise mostra que o betão também influencia positivamente na redução desse mesmo aquecimento.

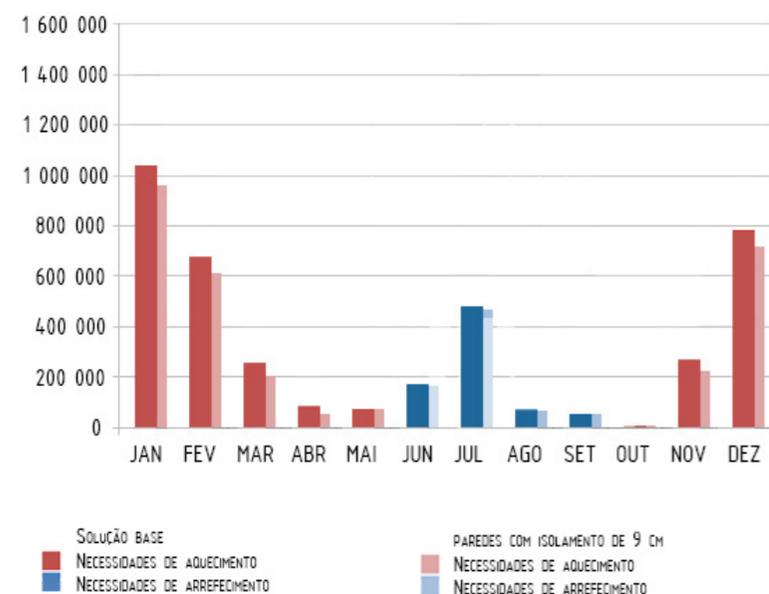


Gráfico 2 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que a espessura do isolamento passa de 5cm para 9cm.

Nesta simulação, foi analisado o aumento de espessura do isolamento de 5 cm para 9 cm. Verificou-se uma situação claramente idêntica à da situação anteriores, com um aumento muito residual das poupanças, mas ainda assim insuficiente face ao esperado para estes resultados. As necessidades de aquecimento representam assim menos 306 000 wh que a solução base e as necessidades de arrefecimento menos 4000 wh. Pode-se assim concluir que o isolamento contribui efetivamente para a capacidade de restringir ganhos ou perdas por condução em paredes exteriores, mas a partir de determinada espessura do isolamento essa capacidade pode não aumentar de forma tão expressiva.

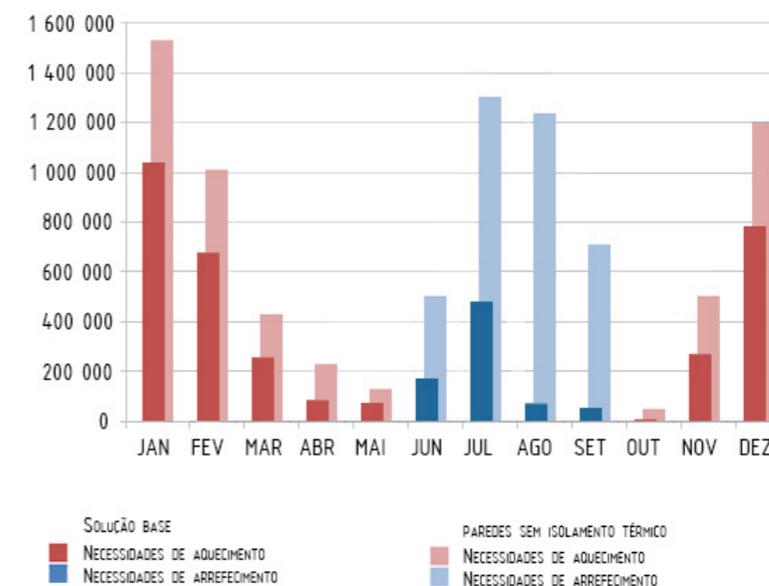


Gráfico 3 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que o Isolamento Térmico é excluído do sistema construtivo das paredes.

Quando comparada a solução base com uma solução de paredes em que o sistema construtivo não inclui qualquer tipo de isolamento, as diferenças tornam-se bastante significativas e reforçam o argumento atrás mencionado. Uma solução sem isolamento nas paredes implicaria um acréscimo de 1 874 000 wh em necessidades de aquecimento e de 2 979 000 wh em necessidades de arrefecimento. Nos dois gráficos anteriores, tanto se verifica uma situação mais favorável para o Inverno, com um aumento do isolamento em 4 cm, como se verifica uma situação menos prejudicial neste mesmo período, numa solução em que o isolamento é excluído, tendo em consideração que neste caso os gastos são indiscutivelmente inferiores.

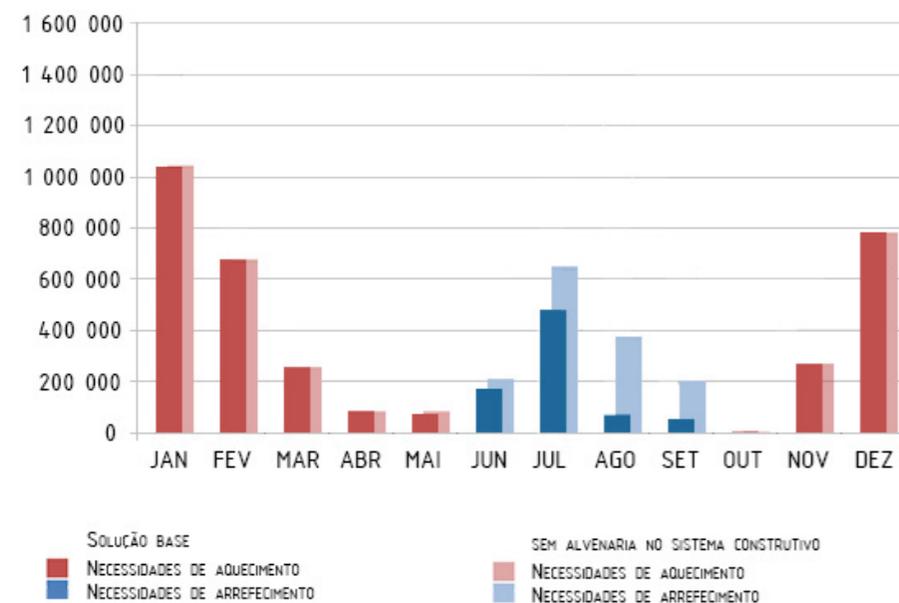


Gráfico 4 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que a alvenaria é excluída do sistema construtivo.

Esta análise surge de forma a compreender o impacto da alvenaria no sistema construtivo. Se as paredes fossem pensadas apenas com betão e isolamento, as necessidades de aquecimento quase se manteriam inalteradas, enquanto que as necessidades de arrefecimento iriam adicionar consumos de energia na ordem de 692 000 wh. Isto mostra a importância que um pano de alvenaria pode fazer ao ser adicionado a um sistema construtivo no desempenho térmico de um espaço. Aquilo que permite reduzir os gastos em necessidades de arrefecimento num sistema construtivo que incluía a alvenaria é o facto de este ter maior inércia térmica, o que permite reter o calor correspondente aos ganhos solares, retardando o seu efeito no aumento da temperatura interior.

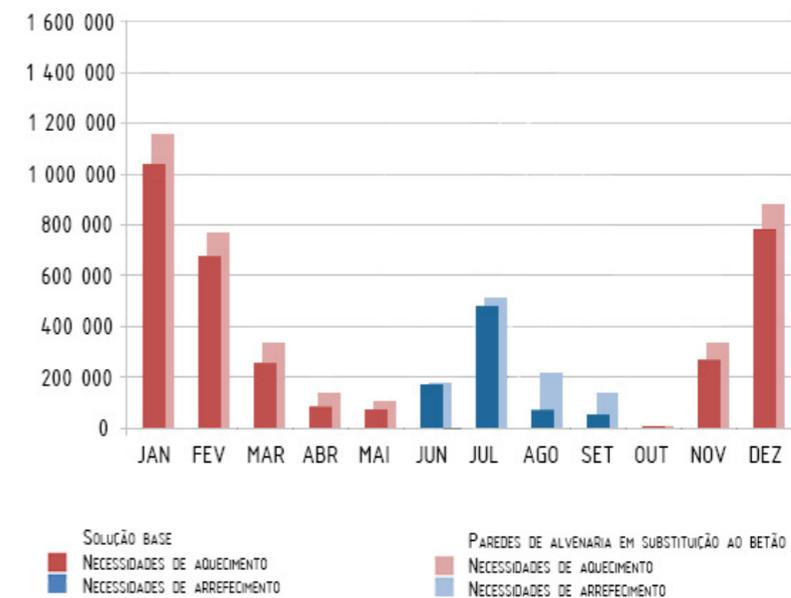


Gráfico 5 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que o betão é substituído pela alvenaria

Da mesma forma foi analisada uma solução que substituisse integralmente o betão de 25 cm e o pano de alvenaria de 11 cm por apenas dois panos de alvenaria, cada um com 11 cm. Os resultados mostram que esta solução iria implicar um aumento do consumo de energia em todos os meses do ano. Quanto às necessidades de aquecimento, o consumo aumenta em 609 000 wh e quanto às de arrefecimento, o consumo aumenta em 302 000 wh. O betão, para além de ser um elemento que representa no projeto uma importante presença na condição formal da arquitetura do edifício, é também do ponto de vista das necessidades de consumo de energia mais vantajoso.

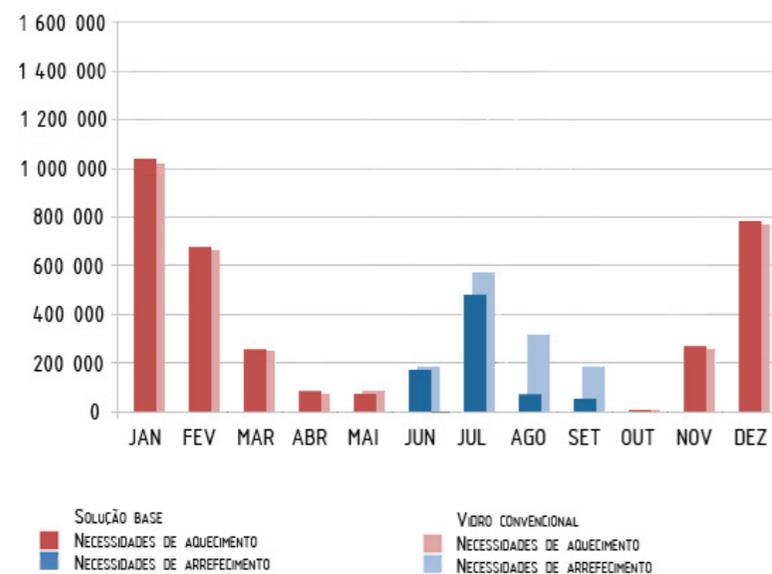


Gráfico 6 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional)

Esta análise permite verificar que com a substituição do vidro duplo por vidro simples se alcançariam poupanças em aquecimento pouco expressivas (21 000 wh). Já os valores referentes às necessidades de arrefecimento aumentariam o consumo em 508 000 wh. Isto deve-se essencialmente ao fato de a simulação ter determinado que, pelo vão se localizar orientado a Sul, no Inverno, existem maiores ganhos solares apesar das perdas de calor, tendo em consideração que o valor U do vidro simples é mais elevado. No Verão, existem mais ganhos solares e mais ganhos de calor por condução.

Zona 2:

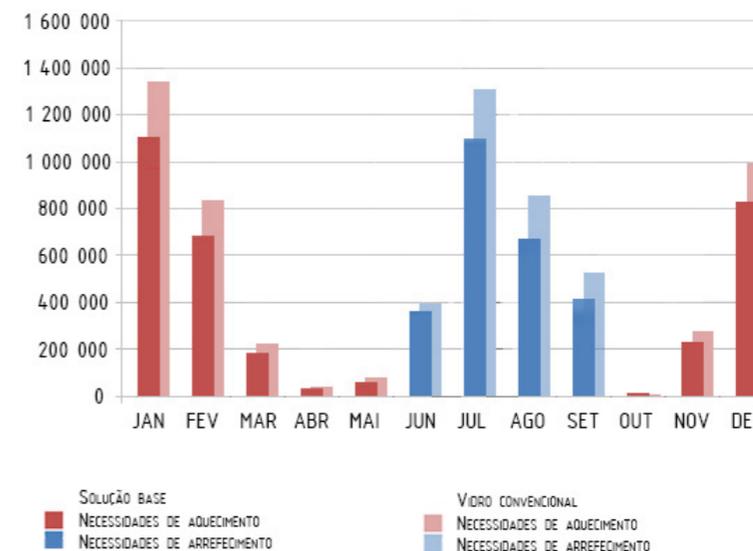


Gráfico 7 - Zona 2: Comparação entre consumos de energia (wh) na Solução Base e numa Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional)

Uma das situações que poderia variar de forma expressiva de uma zona para a outra diz respeito justamente à análise do vidro convencional, em substituição do vidro duplo. Se na situação anterior o vidro convencional se revelou prejudicial no verão e vantajoso no restante período, devido ao vão orientado a sul, nesta situação, com vãos orientados a nascente, o vidro convencional é prejudicial durante todo o ano. No caso das necessidades de arrefecimento, os consumos aumentam em 576 000 wh e, no caso das necessidades de aquecimento, os consumos aumentam 691 000 wh. Assim, considera-se a utilização de vidro duplo uma melhor solução, já que apresenta valores de consumos

de energia bastante inferiores aos do vidro convencional, tanto nas fachadas a sul como nas fachadas a nascente/poente. Isto deve-se principalmente à componente de transmissão térmica do vidro duplo utilizado, 2.7 W/m².K, valor bastante abaixo dos 6 W/m².K. do vidro convencional.

Zona 3:

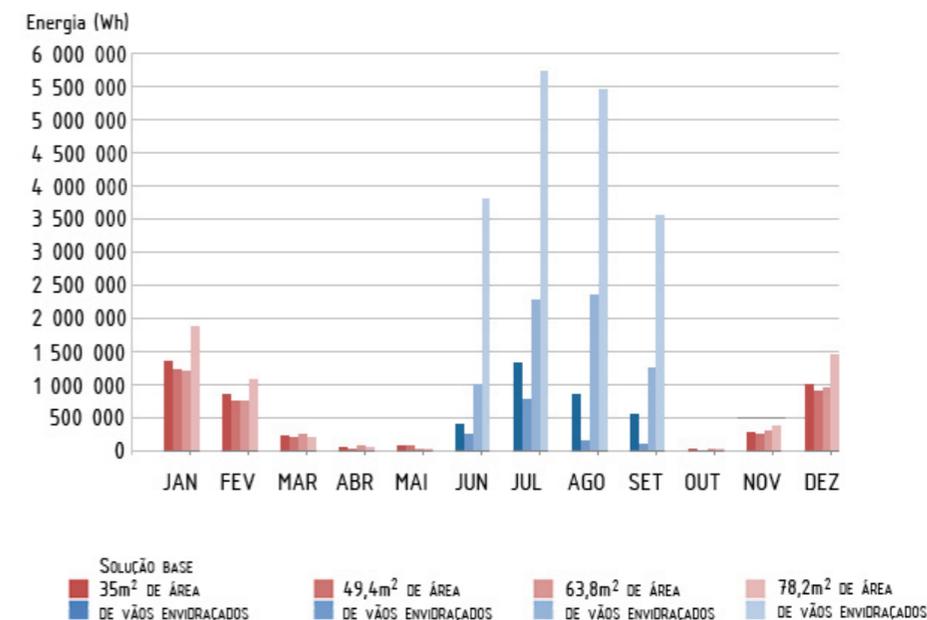


Gráfico 8 – Zona 2: Comparação entre consumos de energia (wh) em várias soluções com diferentes áreas de envidraçados.

De forma a compreender como seria o comportamento das necessidades de arrefecimento e aquecimento, consoante se aumentassem ou diminuíssem as áreas envidraçadas, procedeu-se a uma análise que simulasse quatro situações distintas. Verificou-se que, apesar da diferenciação entre áreas de envidraçados ter sido incrementada de forma constante (adicionados 14,4m² em cada solução), os resultados mostram que, quanto maior for essa área, mais expressivos são os resultados. Por exemplo no mês de julho, o aumento de 35m² para 78,2m² de área de vãos cria consumos em arrefecimento em mais de 5 vezes superiores. No entanto, verifica-se que esse consumo nem sempre teve um percurso ascendente, havendo um período em que, na segunda solução, os valores descem consideravelmente

face à solução base. Isto pode significar que, nas fachadas a nascente (ou poente), o excesso de áreas envidraçadas pode significar encargos avultados em energia, assim como a impossibilidade de garantir conforto térmico sem sistemas de climatização. Por outro lado, considera-se que possa existir um momento em que um possível incremento da área de vãos signifique uma solução melhor, do ponto de vista dos consumos, que uma solução de vãos mais reduzidos. Não se optou neste caso por aumentar a área dos vãos até à segunda opção, o que representaria uma poupança anual de 298 000 wh em aquecimento e 1 180 000 wh em arrefecimento, porque funcionalmente isso iria criar uma incoerência na hierarquização dos espaços, já que iriam aumentar as passagens superiores que ligam aos envidraçados. Essas passagens não poderiam, de forma alguma, ter maior largura que o corredor principal, pois não se trata de um local de estadia. Assim, assume-se esta simulação como um exercício que permite, por um lado, determinar o dimensionamento correto dos vãos envidraçados de forma a evitar consumos desnecessários de energia e, por outro, compreender que a relação entre arquitetura e estratégias de eficiência depende de decisões ponderadas, por parte dos arquitetos, que possam gerar um equilíbrio entre estas duas matérias.

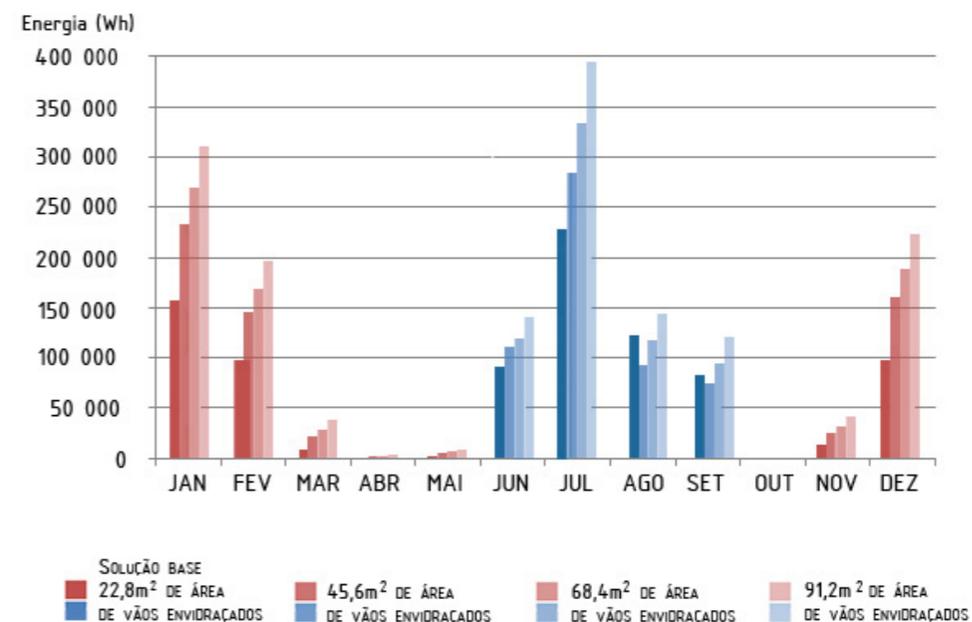


Gráfico 9 - Zona 3: Comparação entre consumos de energia (wh) em várias soluções com diferentes áreas de envidraçados.

As salas de exposição, à semelhança do corredor expositivo, são espaços em que os vãos foram desenhados com a mesma orientação (nascente) e, por isso, foi importante compreender de que forma um eventual incremento da área dos envidraçados daria origem a diferentes valores, quando comparado com a zona anterior. Neste caso, esse incremento foi ainda mais significativo (adicionados 22,8m² em cada solução), mas os resultados foram bastante menos expressivos. Isto pode ser explicado através de duas razões: primeiro porque as dimensões do espaço face à área de envidraçados são bastante

menores, quando comparadas com a zona anterior; a segunda razão diz respeito ao facto de a luz entrar no espaço de forma difusa (através de lanternim na cobertura) e não de forma direta, contribuindo assim para valores que já não se revelam tão elevados como na solução base.

Zona 4:

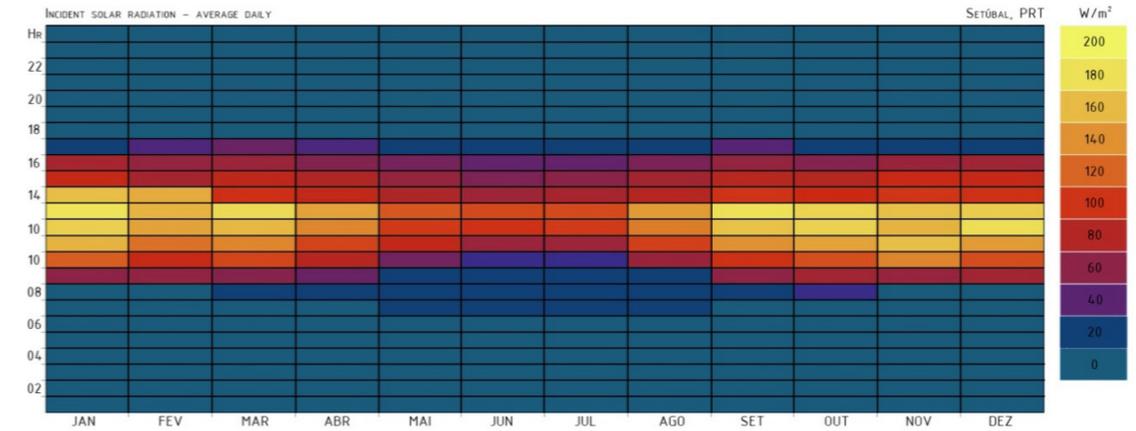


Gráfico 10 – Zona 4: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada Sul sem sistema de sombreamento

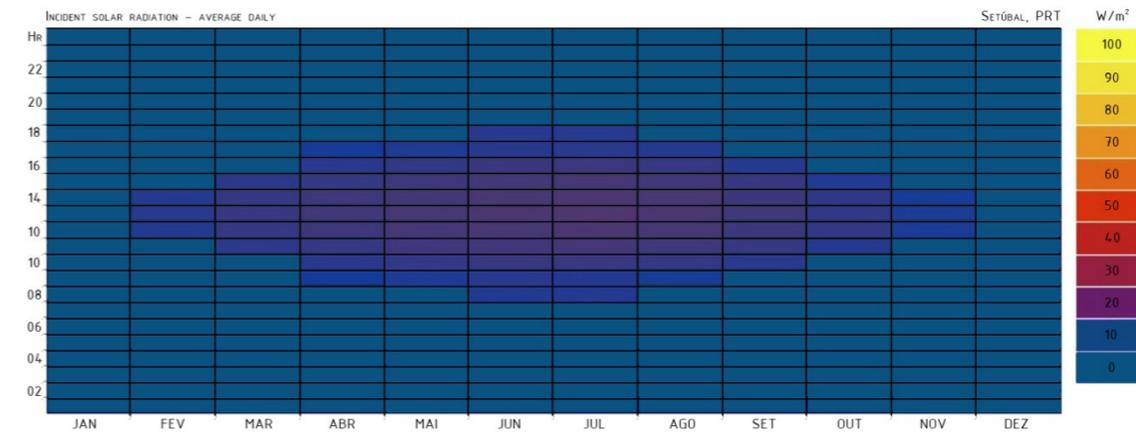


Gráfico 11 – Zona 4: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada Sul com sistema de sombreamento

A grande nave de exposições, como já foi referido anteriormente, assume-se neste projeto como a zona que apresenta maiores dificuldades em criar um equilíbrio entre os bons resultados de consumo energético e as características do espaço, predominando neste caso concreto grandes áreas de perda de calor. Assim, seria da maior importância para esta análise que a simulação calculasse os consumos, incluindo o sombreamento das palas horizontais, dimensionadas especificamente para o envidraçado sul. Não conseguindo o programa calcular os sistemas de sombreamento para efeitos de cálculo no consumo energético, foi necessário recorrer a uma outra simulação, referente à exposição solar incidente através da média diária, o que permitiu compreender, não só se o sombreamento foi bem dimensionado, mas também a importância que este representa num clima como o nosso.

Os resultados mostram que a fachada sul receberia um total anual de 6 103 000 wh, sem qualquer tipo de sombreamento. Com sombreamento, os valores descem para 826 000 wh anuais, perfazendo um corte de radiação solar em cerca de 86%. Os valores mostram igualmente um “average shade” entre os 97% e os 98%, sendo que o que não está em sombra poderá ter origem na luz refletida.

Zona 5:

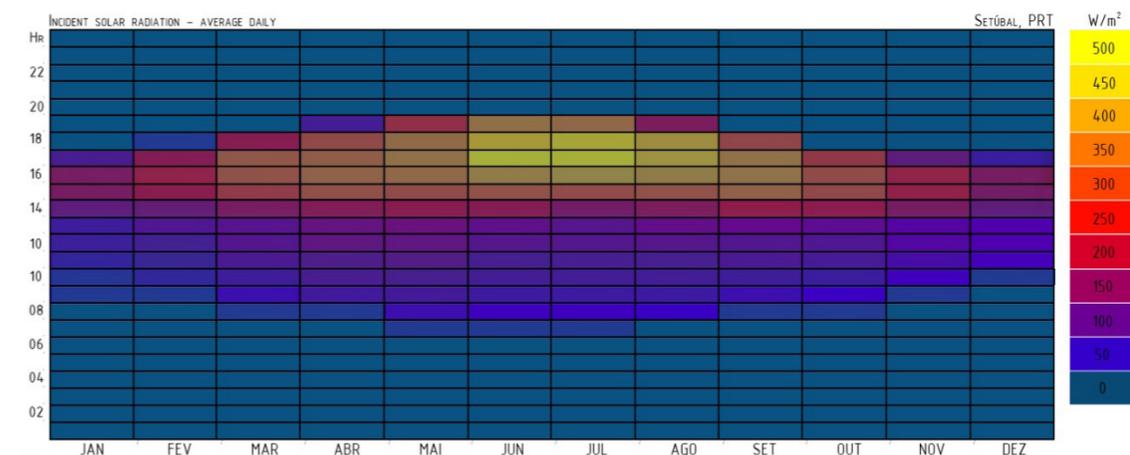


Gráfico 12 – Zona 5: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada poente sem palas de sombreamento

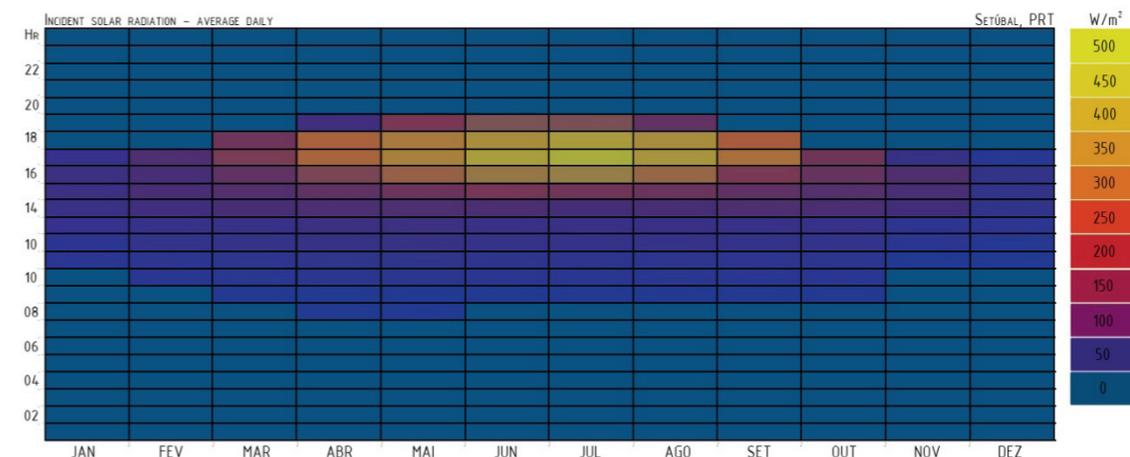


Gráfico 13 – Zona 5: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada poente com palas de sombreamento

Os gabinetes dos serviços internos do museu, à semelhança do caso anteriormente descrito, tiveram igualmente a sua análise do comportamento energético, resumida à exposição solar incidente através da média diária. Se, por um lado, já se sabe que as palas verticais, quando fechadas, permitem um sombreamento total aos envidraçados, por outro, desconhece-se a radiação solar que seria evitada apenas pelo facto de as palas serem colocadas e estarem totalmente abertas. A análise permite verificar que as palas verticais reduziram significativamente, em cerca de 30%, os valores de exposição solar incidente na fachada poente. Se na ausência de palas a incidência solar anual era de 3 791 419 wh, estes valores descem para 2 677 102 wh quando incorporadas as palas verticais. Nesta situação, o average shade é de 71%, sendo que a restante percentagem é facilmente sombreada porque as palas verticais podem ser ajustadas, segundo a necessidade de sombrear maiores ou menores intensidades de radiação.

Análise Crítica do Processo

Torna-se agora fundamental pensar sobre como foi ponderado o balanço entre a arquitetura e as opções tomadas. De que forma a procura de estratégias de eficiência condicionou a solução arquitetónica? É a arquitetura perfeitamente compatível com as intenções nzeb?

Considera-se claramente que estas opções são, na sua maioria, puramente intuitivas e, por isso, não pode existir um modelo sobre como devem os arquitetos definir as suas prioridades no ato de projeto. Não existe uma compatibilidade fácil, ela pode eventualmente existir se o arquiteto estiver presente na tomada de decisões. Mas torna-se claro que, ao ser adicionado mais um requisito ao projeto, a complexidade dificulta a criação de um equilíbrio. Este trabalho pretende representar uma tentativa desse equilíbrio, de como pensar o projeto de arquitetura em conjunto com estratégias passivas de energia. Mas se parece óbvio que, em projetos como o Solar XXI, se parte de estratégias de eficiência para o objeto arquitetónico, torna-se igualmente óbvio que neste trabalho se procedeu de forma inversa na maioria das situações. A solução final a que se chegou, enquanto solução morfológica, não foi muito influenciada pelos objetivos de eficiência, tendo depois sido resolvida sobretudo através dos sistemas construtivos. O método parece à partida igualmente válido, mas não contempla o facto dos aspetos formais da arquitetura serem bastante mais flexíveis em termos de alternativas que as próprias estratégias de eficiência. No caso do sombreamento, por exemplo, a solução encontrada só foi possível porque houve uma flexibilidade de ambas as partes. Se por um lado, a arquitetura assume claramente a criação de diversas densidades de palas, como uma solução aceite do ponto de vista formal num projeto de arquitetura contemporânea, por outro lado, as estratégias permitiram que através de uma fórmula matemática não se comprometesse a eficácia do sombreamento.

Todo o processo de desenvolvimento desta investigação foi composto por este tipo de condicionalismos. Claro que a necessidade de aliar o rigor formal e funcional do edifício à necessidade de reduzir os

gastos em energia não pode ser representada como um condicionalismo, mas sim como o desafio verdadeiramente central do trabalho. No entanto, existiram condicionalismos que dificultaram um conciliar de ambições nzeb no projeto final. Como dificuldades preponderantes no processo salienta-se o contexto urbano relativamente consolidado e a necessidade de dar resposta a princípios urbanos muito específicos, tendo-se chegado a uma solução com excesso de fachadas com orientações pouco convenientes (nascente e poente).

Contudo, e embora se possa admitir que grande parte das medidas de eficiência tenham sido pensadas após o desenvolvimento do projeto, numa fase em que o conhecimento sobre o tema ficou mais aprofundado, houve uma intenção constante em incorporar as medidas de eficiência desde cedo. Destaca-se o caso do sombreamento, já anteriormente referido, ou das orientações, em que apesar de não ter sido possível alterar a forma como o edifício é implantado no terreno, foi possível restringir a abertura de vãos a nascente/poente. A única situação em que foi necessário abrir vãos maiores, embora corretamente sombreados, foi na torre dos gabinetes. As áreas de superfície envidraçada orientada nestas direções contam apenas com 430m² em comparação com 1400m² das fachadas orientadas a Sul/Norte.

Considerações Finais

Antes de mais, é importante salientar que o princípio nzeb assume-se nesta investigação não como um fim para chegar à energia zero, mas como um meio para reforçar essa procura. O tema exigiu uma descodificação constante de termos e conceitos para produção de conhecimento sobre uma matéria até então pouco assimilada. Considera-se assim que a pesquisa feita contribuiu decisivamente para um entendimento sobre os edifícios de energia zero, o que viria a revelar-se primordial para a aplicação dos princípios estudados no caso de estudo.

A compreensão do projeto por zonas térmicas e a organização dos objetivos e soluções em tabelas diferenciadas permitiram estruturar o desenvolvimento do trabalho. É possível concluir que o resultado final, em matéria de soluções de arquitetura, foi bastante positivo, já que dá resposta às necessidades específicas de cada zona, entrando num diálogo constante com a necessidade de obter um bom resultado do ponto de vista formal. Esta condição, bem como a necessidade de ter sido necessário um período alargado para aprendizagem das matérias em questão, ocasionou que a maioria das estratégias tivessem sido resolvidas sobretudo através da alteração dos sistemas construtivos nos elementos opacos da envolvente. No entanto, não sendo esta uma solução errada, dificultou em algumas situações um compromisso sério entre arquitetura e estratégias de eficiência.

Já as análises por simulação dos modelos revelaram-se bastante esclarecedoras, para confirmação da viabilidade das soluções que tinham sido previamente estabelecidas, e permitiram criar diversas interpretações sobre os resultados apresentados, os quais contribuíram para o desenvolvimento do espírito crítico. No entanto, as simulações mostram também que algumas zonas, apesar das várias soluções, se apresentam com valores ainda demasiado altos em relação ao que seria suposto. Em determinadas situações teria sido possível reduzir ainda mais os consumos, se se tivesse gerido a relação entre arquitetura e medidas de eficiência numa fase anterior do trabalho. O arquiteto deverá

ter claramente em consideração a forma como gere este balanço, tendo bem claro que as medidas de eficiência se assumem, geralmente, menos flexíveis face à solução arquitetónica, a qual poderá sempre ter diversas possibilidades de execução. Por essa mesma razão, deverá ponderar a colocação de estratégias de eficiência logo numa fase preliminar do projeto, para que a arquitetura não assumira uma posição de domínio sobre essas mesmas estratégias.

De forma a concluir, não se pretendeu, de forma alguma, fazer uma análise exaustiva das soluções, bem como das respetivas simulações, porque efetivamente não era esse o pressuposto. O caso de estudo não procurou uma solução única para os problemas abordados, mas sim informar sobre possíveis soluções, comparar soluções através de análises de energia e refletir sobre a relação entre a arquitetura e as medidas de eficiência.

Abreviaturas

AVAC: Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

ENE: Estratégia Nacional para a Energia

EPBD: Energy Performance of Buildings Directive

Kw: quilowatt

NZEB: Nearly Zero Energy Building

PNAEE: Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER: Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PV: Photo Voltaics (Fotovoltaicos)

Rph: Renovações por hora

Wh: Watt-hora

Glossário

Altura solar: Ângulo formado entre o raio solar e o plano horizontal.

Valor U: Mede o valor da transferência de calor num determinado sistema construtivo como um pavimento, uma cobertura ou uma parede. Um elemento construtivo bem isolado termicamente deverá ter um valor U baixo já que menos calor o elemento construtivo transfere.

Amplitudes térmicas: Diferença de temperaturas entre a máxima e a mínima num determinado período de tempo.

Energia radiante: Energia em forma de calor transferida a partir de ondas electromagnéticas.

Temperatura superficial: Temperatura existente na superfície do elemento construtivo, podendo alterar significativamente as noções de conforto.

Caudal de Infiltração do ar: Nível de ar exterior que entra em determinado espaço de modo natural, geralmente através de aberturas ou frechas não seladas.

Ventilação transversal: Arrefecimento do interior dos espaços por meio da deslocação do vento entre aberturas situadas em orientações opostas.

Estratégias bioclimáticas: Estratégias que aproveitam as condições climáticas e os recursos disponíveis para melhorar o conforto térmico interior e contribuir para a diminuição do impacto ambiental.

Efeito chaminé (convecção natural): Movimento de ascensão do ar quente, de menor densidade, do interior dos espaços até ao exterior por aberturas situadas na parte superior do compartimento/edifício. Com a saída do ar quente diminui a pressão a uma cota mais baixa do espaço, possibilitando que o ar exterior entre no espaço.

Ventilação mecânica: Ventilação feita a partir de ventiladores para insuflação e extracção do ar quando a ventilação natural não é suficiente para garantir as condições de conforto, exigindo custos adicionais de consumo energético.

Iluminação zenital: Iluminação feita a partir da abertura de vãos nas coberturas, normalmente recomendada para espaços amplos e sem que o vão ultrapasse os 10% da área do piso de forma a evitar situações de sobreaquecimento.

Ganhos solares: Ganhos de calor por meio de radiação solar directa.

Bibliografia

Aelenei, D., Aelenei, L. & Gonçalves, H., 2013. *Edifícios de balanço energético nulo: uma síntese das características principais*. In: *Revista Edifícios e Energia*. s.l.:s.n.

Aelenei, L., Aelenei, D., Gonçalves, H. & Lollini, R., 2012. *Design Issues for Net Zero-Energy Buildings* In: *ZEMCH 2012 - International Conference, Glasgow, UK, 20-22 August, 2012*, s.l.:s.n.

Alfano, L. & Riccio, J., 2014. Energy requalification of a historical building: a case study. *Energy and Buildings*, p. 5.

Bogdan, A. et al., 2011. *Principles for nearly zero-energy buildings*. s.l.:s.n.

Brajal, F., 2012. *Edifícios de emissão quase zero - Guia de requisitos para a construção*. s.l.:s.n.

Bruni, E., Sarto, L. & Dall'O', G., 2012. An Italian pilot project for zero energy buildings: Towards a quality-driven approach. *Renewable Energy* 50, pp. 2-3.

Butti, K. & Perlin, J., 1980. A Golden Thread, 2500 Years of Solar Architecture and Technology In: Hernandez, P. & Kenny, P., 2009. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). p. 816. *Energy and Buildings* 42.

Cappelletti, P. & Gasparella, A., 2014. Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings. *Energy and Buildings* 82, p. 2.

Casalinho, J. R., 2008. *Rendimento de painéis solar térmicos poliméricos unglazed e glazed*. s.l.:s.n.

Comini, R. et al., 2008. Eficiência energética nos edifícios residenciais. s.l.:s.n.

D'Amico, F., 2000. Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual. s.l.:s.n.

Diário da República n.º 70, s. I., 2013. Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013. Lisboa: s.n.

Diário da República n.º 73, s. I., 2010. Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010. Lisboa: s.n.

Dionysia, K., Rovas, D., Kosmatopoulos, E. & Kalaitzakis, K., 2010. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy* 85, p. 3067.

Economidou, M. et al., 2011. Europe's Buildings Under the Microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. s.l.:s.n.

EnerGuide, 2004. Heating and Cooling With a Heat Pump. s.l.:s.n.

EPBD(recast), 2010. Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast), adopted by the Council on 14/04/2010. In: Brussels, 2008/0223 (COD): s.n.

Esbensen, T. & Korsgaard, V., 1977. Dimensioning of the Solar Heating System in the Zero Energy House in Denmark. *Energy and Buildings* 42, pp. 195-199 In: Hernandez, P. & Kenny, P., 2009. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). p. ?..

Ferreira, M., 2009. A eficiência energética na reabilitação de edifícios. s.l.:s.n.

Gonçalves, H., 2010a. Energia 2020 - Eficiência Energética (edifícios e áreas urbanas). s.l.:s.n.

Gonçalves, H., 2010b. Solar XXI : Em Direcção à Energia Zero. Lisboa: s.n.

Gonçalves, H. & Graça, J. M., 2004. Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Lisboa: s.n.

Harrison, K. & Chatham, A., 2003. The Tectonics of the Double Skin: Green Building or Just more Hi-Tech Hi-Jinx?. School of Architecture, University of Waterloo: s.n.

Hernandez, P. & Kenny, P., 2009. From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings* 42, p. 816.

Höfler, K., Julia, M. & David, V., 2014. Shining Examples of Cost-Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation (Annex 56). s.l.:s.n.

INE, 2013. Anuário Estatístico de Portugal 2013. p. 462.

Kang, H., Lee, S. & Rhee, K., 2010. A study on the design process of Zero Emission Building, Cit: Zeiler, W. & Gert, B., 2012. Net-zero energy building schools. p. 4..

Kurnitski, J. et al., 2011. How to define nearly net zero energy buildings nZEB. p. 6.

Luís da Cunha, F. & Fernandes, R., 2010. Especificações para a Reabilitação Sustentável de Edifícios. In: Aveiro: s.n., p. 50.

Mazzarella, L., 2014. Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view. *Energy and Buildings*, p. 1.

Mendes, J., Salgueiro, A., Cardoso, J. & Coelho, R., 2010. A integração de energias renováveis em edifícios. *Construção Magazine*, Volume 38, pp. 20-21.

Mendes, J., Salgueiro, A., Cardoso, J. & Coelho, R., 2012. Portugal 2020 e a Integração de

Energias Renováveis nos Edifícios. pp. 2-6.

Monteiro, A., 2011. A Arquitectura Bioclimática. Experiência e aplicação em Portugal. p. 49.

Mourão, J. & Pedro, J. B., 2012. Estratégias solares passivas. Lisboa: s.n.

Musall, E., Weiss, T., Voss, K. & Lenoir, A., 2010. Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Buildings Projects. s.l.:s.n.

Parlamento Europeu, ..., 2012. Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012.

Pascoalinho, A., 2013. NZEB e os novos revestimentos. In: Lisboa: s.n., p. 01.

Pless, S. & Torcellini, P., 2010. Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options. p. 1.

Rodrigues, L., 2009. Património Sustentável - (Re) pensar a Arquitectura. Estudo de exemplos paradigmáticos. pp. 43-47.

Rodrigues, M., Vicente, R. & Cardoso, J., 2010. Energy Efficiency of Social Housing Existing Buildings – A Portuguese Case Study. Gazi University Journal of Science, p. 310.

Saari, A. et al., 2011. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. Energy and Buildings 43.

Sartori, I. et al., 2010. Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings. EUROSUN - International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings. Proceedings of EuroSun 2010 : International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings: 28 September - 1 October

2010, Graz, Austria. EuroSun 2010, 2010., p. 1.

Silva, S. & Almeida, M., 2010. Achieving Sustainability through Energy Efficiency while Assuring Indoor Environmental Quality. p. 457.

Torcellini, P., Pless, S., Deru, M. & Crawley, D., 2006. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. pp. 1-3.

Torcellini, P., Pless, S., Lobato, C. & Hootman, T., 2010. Main Street Net-Zero Energy Buildings: The Zero Energy Method in Concept and Practice. p. 2.

US Green Building Council, L. i. E. a. E. D. (., s.d. Green Building Rating System.

Índice de Figuras

Figura 1 Conservation House, Saskatchewan, Canadá (1977) In: esask [Online] Available at : http://esask.uregina.ca/entry/energy-efficient_houses.html [Acedido em Setembro 2015].....	125
Figura 2 Casa Experimental Effizienzhaus Plus, Werner Sobek Architects – Berlim, Alemanha (2011) In: ideen2020 [Online] Available at : http://www.ideen2020.de/en/27/city/ [Acedido em Setembro 2015]..	15
Figura 3 Edifício Solar XXI, Lisboa, Portugal (2006). Fotografia do Autor	125
Figura 4 - Empreendimento Bed-ZED – Bill Dunster Architects - Londres, Reino Unido (2002) In: ideaspractise [Online] Available at : http://ideaspractise.blogspot.pt/ [Acedido em Setembro 2015]	126
Figura 5 Edifício de Habitação Unifamiliar - Snøhetta Architects - Larvik, Noruega (2014) In: snohetta official site [Online] Available at : http://snohetta.com/project/188-zeb-pilot-house [Acedido em Agosto 2015]	127
Figura 6 Kiefer Technic's hospital In: Inhabitat [Online] Available at: http://inhabitat.com/kiefer-technic-showroom-has-mind-blowing-dancing-facade/kiefertechinc_4/ [Acedido em Setembro 2015].....	139
Figura 7 Edifício Luna – Pormenor do Sombreamento 1 In: estudioquagliata [Online] http://arquitectura.estudioquagliata.com/tag/elenberg-fraser [Acedido em Setembro 2015].....	139
Figura 8 Edifício Luna – Pormenor do Sombreamento 2 In: estudioquagliata [Online] http://arquitectura.estudioquagliata.com/tag/elenberg-fraser [Acedido em Setembro 2015].....	139

Figura 9 aberturas reguláveis em parede interior do edifício Solar XXI. Fotografia do Autor	140
Figura 10 Aberturas para ventilação no topo do edifício Solar XXI. Fotografia do Autor	140
Figura 11 Fachada Ventilada no Centro Documental da Comunidade de Madrid, Espanha - Arquitectos Mansilia e Tunon (2002) - Fotografia Exterior. In: architettura italiana [Online] http://architettura-italiana.com/projects/17313-mansilla-tunon-arquitectos-centro-documental-de-la-comunidad-de-madrid [Acedido em Agosto 2015].....	141
Figura 12 - Fachada Ventilada no Centro Documental da Comunidade de Madrid, Espanha - Arquitectos Mansilia e Tunon (2002) - Fotografia Interior. Fachada Ventilada no Centro Documental da Comunidade de Madrid, Espanha - Arquitectos Mansilia e Tunon (2002) - Fotografia Interior In: architettura italiana [Online] http://architettura-italiana.com/projects/17313-mansilla-tunon-arquitectos-centro-documental-de-la-comunidad-de-madrid [Acedido em Agosto 2015].....	141
Figura 13 - Lago Artificial para Arrefecimento Evaporativo - Data Center da Portugal Telecom - Arquitecto João Luís Carrilho da Graça - Covilhã (2013). In: sapo [Online] http://fotos.sapo.pt/portugaltelecom/fotos/?uid=Uw5rPGZsl2MDpQm5H2Dd [Acedido em Setembro 2015].....	142
Figura 14 - Poço de admissão de ar do sistema de tubagem subterrânea do edifício Solar XXI. Fotografia do Autor	142
Figura 15 Iluminação Natural no Interior do edifício Solar XXI. Fotografia do Autor	143
Figura 16 Residências sociais e Paris dos arquitetos Emmanuel Saadi e Jean-Louis Rey – Paris, França (2011). In: La Croix [Online] http://www.la-croix.com/Actualite/France/Une-residence-modele-pour-les-personnes-sans-abri_EP_-2011-12-27-751414 [Acedido em Setembro 2015].....	147
Figura 17 - módulos de silício multicristalino, instalados na fachada sul do edifício Solar XXI. Fotografia	

do Autor	147
Figura 18 Centro de coordenação operacional da Brisa - Arquitecto João Luis Carrilho da Graça (2004). In: Guias de Arquitectura [Online] http://guiasdearquitectura.com/pt/produtos/packs/lisbon-district/_222 [Acedido em Setembro 2015]	148
Figura 19 – Esquema de distribuição das zonas no projecto. Esquema do autor	152
Figura 20 – Estratégias de Eficiência por zonas térmicas. Esquema do autor.....	153
Figura 21 – Solução 1 (à esquerda) e Solução 2 (à direita). Esquema do autor	155
Figura 22 – Dispositivos de sombreamento na fachada Sul do edifício da Grande Nave de Exposições. Esquema do autor	164
Figura 23 – Arrefecimento do edifício por ventilação natural. Esquema do autor.....	166
Figura 24 – Fachada de Dupla pele – Esquema de circulação do ar no Inverno (à esquerda) e no Verão (à direita). Esquema do autor.....	167
Figura 25 -Traçado entre o poço de admissão de ar e o interior do edifício. Esquema do autor.....	169
Figura 26 – Palas de Sombreamento e Intensidade de Luz nos Gabinetes técnicos no dia 21 de Junho das 14h às 17h. Renderização do autor.....	171
Figura 27 - Ventilação ascendente por convecção natural nos vários pisos dos gabinetes. Esquema do autor	172

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que as paredes de betão passam de 25cm para 35cm. Gráfico do Autor	177
Gráfico 2 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que a espessura do isolamento passa de 5cm para 9cm. Gráfico do Autor	178
Gráfico 3 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que o Isolamento Térmico é excluído do sistema construtivo das paredes. Gráfico do Autor	179
Gráfico 4 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que a alvenaria é excluída do sistema construtivo. Gráfico do Autor	180
Gráfico 5 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que o betão é substituído pela alvenaria. Gráfico do Autor	181
Gráfico 6 – Zona 1: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional). Gráfico do Autor	182
Gráfico 7 - Zona 2: Comparação entre consumos de energia na Solução Base e numa Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional). Gráfico do Autor	183
Gráfico 8 – Zona 2: Comparação entre consumos de energia em várias soluções com diferentes áreas de envidraçados. Gráfico do Autor	185
Gráfico 9 - Zona 3: Comparação entre consumos de energia em várias soluções com diferentes áreas de envidraçados. Gráfico do Autor	187

Gráfico 10 – Zona 4: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada Sul sem sistema de sombreamento. Gráfico do Autor	189
Gráfico 11 – Zona 4: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada Sul com sistema de sombreamento. Gráfico do Autor	189
Gráfico 12 – Zona 5: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada poente sem palas de sombreamento. Gráfico do Autor	191
Gráfico 13 – Zona 5: Análise de Radiação Solar Incidente da fachada poente com palas de sombreamento. Gráfico do Autor	191

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Quadro de estudo para definição dos objectivos para cada zona térmica. Tabela do autor.	163
Tabela 2 - Quadro de estudo para definição das estratégias de eficiência/soluções arquitectónicas para cada zona térmica. Tabela do autor	216
Tabela 3 – Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução base. Tabela do autor	218
Tabela 4 Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a espessura do betão passa de 25 cm para 35 cm. Tabela do autor	218
Tabela 5 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a espessura do isolamento passa de 5cm para 9cm. Tabela do autor.	219
Tabela 6 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o Isolamento Térmico é excluído do sistema construtivo das paredes. Tabela do autor.	219
Tabela 7 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a alvenaria é excluída do sistema construtivo. Tabela do autor	220
Tabela 8 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o betão é substituído pela alvenaria. Tabela do autor.....	220
Tabela 9 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional). Tabela do autor.....	221
Tabela 10 - Zona 2: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução	

base. Tabela do autor	221
Tabela 11 - Zona 2: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional). Tabela do autor.....	222
Tabela 12 – Zona 2: Valores considerados referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 49,4 m ² . Tabela do autor	222
Tabela 13 - Zona 2: Valores considerados referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 63,8 m ² . Tabela do autor	223
Tabela 14 - Zona 2: Valores considerados referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 78,2 m ² . Tabela do autor.....	223
Tabela 15 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução base. Tabela do autor	224
Tabela 16 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 45,6 m ² . Tabela do autor.....	224
Tabela 17 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 68,4 m ² . Tabela do autor.....	225
Tabela 18 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 91,2 m ² . Tabela do autor.....	225
Tabela 19 – Zona 4: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada sul da Grande Nave de Exposições sem palas de sombreamento. Tabela do autor	226
Tabela 20 - Zona 4: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada sul da Grande Nave de	

Exposições com palas de sombreamento. Tabela do autor	226
Tabela 21 - Zona 5: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada poente dos Gabinetes Técnicos sem palas de sombreamento. Tabela do autor.....	227
Tabela 22 - Zona 5: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada poente dos Gabinetes Técnicos com palas de sombreamento. Tabela do autor.....	227

Zonas / Espaços	Objectivos		
	Objectivo 1	Objectivo 2	Objectivo 3
Zona 1. - Sala Polivalente	Controlar excesso de radiação Solar directa no vão e de intensidade de luz difusa mantendo uma permeabilidade de vistas entre interior/exterior	Restringir perdas por condução no Inverno e Restringir Ganhos por condução no Verão	Promover ganhos solares de Inverno e Restringir ganhos Solares de Verão
Zona 2. - Corredor de exposições	Promover ganhos solares de Inverno e Restringir ganhos Solares de Verão	Restringir perdas por condução no Inverno e Restringir Ganhos por condução no Verão	
Zona 3. - Salas de Exposição	Evitar iluminação artificial das salas	Restringir perdas por condução no Inverno e Restringir Ganhos por condução no Verão	
Zona 4. - Grande Nave Exposições	Promover ganhos solares de Inverno e Restringir ganhos Solares de Verão	Restringir perdas por condução no Inverno e Restringir Ganhos por condução no Verão	Possíveis situações de sobreaquecimento exigem estratégias de ventilação
Zona 5. - Gabinetes Técnicos	Restringir ganhos Solares de Verão	Restringir perdas por condução no Inverno e Restringir Ganhos por condução no Verão	Possíveis situações de sobreaquecimento exigem estratégias de ventilação

Estratégias de Eficiência / Soluções Arquitectónicas		
Solução 1	Solução 2	Solução 3
Utilização de revestimento em tom negro para absorção da luz. Utilização de sistema de palas em acrílico para difusão da luz . Colocação de pano em black-out	Bom Isolamento dos Elementos da envolvente	Avançar paredes do espaço polivalente e cobertura para além do vão envidraçado até conseguir obter uma solução que dê uma optimização ao longo de todo o ano considerando que o vão está orientado a Sul
Vegetação pode desempenhar um papel que permite sombreamento no Verão e ganhos solares no inverno	Bom Isolamento dos Elementos da envolvente	
Estudar aberturas de luz zenital. Abrir até ao tecto entradas nas salas.	Bom Isolamento da cobertura	
Sombreamento horizontal de envidraçados a partir de 12 de Março a 30 de Setembro na fachada orientada a Sul	Bom Isolamento dos Elementos da envolvente - Fachadas envidraçadas (Dupla fachada ventilada); cobertura e piso. Isolamento a ser colocado pelo exterior. Inércia no piso + Piso Radiante	Tubos enterrados, Ventilação por convecção natural (nocturna)
Dispositivos de sombreamento verticais reguláveis	Bom Isolamento dos Elementos da envolvente	Aberturas na fachada e poço central com ventilação ascendente

Tabela 2 - Quadro de estudo para definição das estratégias de eficiência/soluções arquitectónicas para cada zona térmica

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1037222
FEV		676018
MAR		254982
ABR		85620
MAI		89488
JUN	172483	
JUL	478455	
AGO	68671	
SET	51873	
OUT		7372
NOV		266546
DEZ		782199

Tabela 3 – Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução base.

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		986155
FEV		635295
MAR		215611
ABR		57028
MAI		78753
JUN	166445	
JUL	480791	
AGO	68623	
SET	57317	
OUT		2575
NOV		232512
DEZ		738294

Tabela 4 Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a espessura do betão passa de 25 cm para 35 cm

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		973739
FEV		625744
MAR		208058
ABR		52702
MAI		76880
JUN	166404	
JUL	475285	
AGO	68619	
SET	57317	
OUT		2204
NOV		226110
DEZ		727846

Tabela 5 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a espessura do isolamento passa de 5cm para 9cm.

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1531352
FEV		1007949
MAR		430935
ABR		230689
MAI		124622
JUN	501554	
JUL	1302655	
AGO	1238496	
SET	707464	
OUT		49278
NOV		503438
DEZ		1195656

Tabela 6 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o Isolamento Térmico é excluído do sistema construtivo das paredes.

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1048590
FEV		682985
MAR		258114
ABR		86393
MAI		88588
JUN	214995	
JUL	658534	
AGO	382463	
SET	207841	
OUT		4082
NOV		272428
DEZ		791601

Tabela 7 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a alvenaria é excluída do sistema construtivo.

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		947445
FEV		605875
MAR		192549
ABR		39871
MAI		71685
JUN	190644	
JUL	573824	
AGO	311040	
SET	187168	
OUT		74
NOV		210781
DEZ		705743

Tabela 8 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o betão é substituído pela alvenaria

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1176834
FEV		783479
MAR		350696
ABR		141259
MAI		106829
JUN	184102	
JUL	524905	
AGO	221480	
SET	143165	
OUT		7727
NOV		341699
DEZ		899777

Tabela 9 - Zona 1: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional)

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1361236
FEV		848726
MAR		230945
ABR		42246
MAI		78404
JUN	411359	
JUL	1330085	
AGO	867142	
SET	544617	
OUT		145
NOV		280620
DEZ		1011619

Tabela 10 - Zona 2: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução base.

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1361869
FEV		849133
MAR		231163
ABR		42276
MAI		78454
JUN	404706	
JUL	1330086	
AGO	867143	
SET	538421	
OUT		149
NOV		280872
DEZ		1012113

Tabela 11 - Zona 2: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que o vidro duplo é substituído por vidro simples (convencional).

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1230546
FEV		754518
MAR		198814
ABR		31014
MAI		67552
JUN	257516	
JUL	780427	
AGO	147064	
SET	97089	
OUT		0
NOV		253652
DEZ		911445

Tabela 12 – Zona 2: Valores considerados referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 49,4 m²

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1164616
FEV		725160
MAR		244604
ABR		77725
MAI		28236
JUN	955081	
JUL	2195562	
AGO	2247148	
SET	1207107	
OUT		20406
NOV		298564
DEZ		911173

Tabela 13 - Zona 2: Valores considerados referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 63,8 m²

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		1863022
FEV		1086438
MAR		219703
ABR		55705
MAI		18914
JUN	3784667	
JUL	5695320	
AGO	5414420	
SET	3525161	
OUT		5874
NOV		382143
DEZ		1444155

Tabela 14 - Zona 2: Valores considerados referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 78,2 m²

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		157084
FEV		98044
MAR		9346
ABR		0
MAI		1976
JUN	90645	
JUL	230284	
AGO	121903	
SET	82953	
OUT		0
NOV		13222
DEZ		97689

Tabela 15 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução base.

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		236492
FEV		147882
MAR		22211
ABR		1100
MAI		4540
JUN	111373	
JUL	287201	
AGO	93045	
SET	75054	
OUT		0
NOV		24932
DEZ		161799

Tabela 16 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 45,6 m²

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		272144
FEV		171320
MAR		29015
ABR		2037
MAI		6113
JUN	122160	
JUL	338236	
AGO	120688	
SET	94655	
OUT		0
NOV		31464
DEZ		190661

Tabela 17 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 68,4 m²

	ARREFECIMENTO (Wh)	AQUECIMENTO (Wh)
JAN		311747
FEV		197867
MAR		36278
ABR		3396
MAI		7794
JUN	143894	
JUL	395477	
AGO	147867	
SET	116981	
OUT		0
NOV		39185
DEZ		222268

Tabela 18 - Zona 3: Valores referentes aos consumos de aquecimento e arrefecimento na Solução em que a área de vãos envidraçados é de 91,2 m²

	Wh/m ²	Total Wh
JAN	1038	627208
FEV	908	548455
MAR	954	576473
ABR	803	485383
MAI	642	387902
JUN	555	335186
JUL	575	347557
AGO	738	445882
SET	954	576629
OUT	967	584277
NOV	959	579395
DEZ	950	574025

Tabela 19 – Zona 4: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada sul da Grande Nave de Exposições sem palas de sombreamento

	Wh/m ²	Total Wh
JAN	57	31477
FEV	79	43135
MAR	113	62253
ABR	144	78880
MAI	178	89680
JUN	202	110651
JUL	207	113474
AGO	178	97461
SET	137	75077
OUT	97	52991
NOV	65	35620
DEZ	50	27262

Tabela 20 - Zona 4: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada sul da Grande Nave de Exposições com palas de sombreamento

	Wh/m ²	Total Wh
JAN	972	157381
FEV	1306	211302
MAR	1897	307089
ABR	2317	375005
MAI	2674	432731
JUN	2884	466718
JUL	2859	462809
AGO	2603	421241
SET	2222	359581
OUT	1624	262797
NOV	1177	190525
DEZ	891	144240

Tabela 21 - Zona 5: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada poente dos Gabinetes Técnicos sem palas de sombreamento

	Wh/m ²	Total Wh
JAN	552	89336
FEV	760	122996
MAR	1220	197390
ABR	1706	276075
MAI	2084	337321
JUN	2251	364330
JUL	2284	369630
AGO	2015	326169
SET	1530	247644
OUT	978	158257
NOV	668	108150
DEZ	493	79804

Tabela 22 - Zona 5: Valores referentes à radiação solar incidente na fachada poente dos Gabinetes Técnicos com palas de sombreamento