

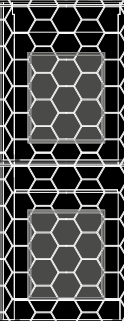
Sbo

Sabentad'Obra | Ciclo de construção do projeto à obra

#46, março 2025

Liga Portuguesa de Futebol
Porto

João Jesus, Gabriel Lopes, João Alves, Pedro Lopes,
Aires Colaco, Joaquim Lopes



Editor

Cadernos d'Obra

Diretor

Bárbara Rangel

Coordenação Editorial

Bárbara Rangel

Leonor Reis

Conceção Gráfica

Teresa Seródio

Texto

João Jesus, Marina Rodrigues, Gabriel Lopes,

João Alves, Pedro Lopes, Aires Colaço,

Joaquim Lopes

Imagens

Desenhos: Dos autores.

Fotografias de obra: Guilherme Oliveira

Fotografias do edifício construído: Pedro Cardigo

Produção

Porto Innovation Hub

Departamento de Engenharia Civil da FEUP

Parceria

Universidade do Porto

Câmara Municipal do Porto

Apoios

Fundação Marques Silva

FCUP – Faculdade de Ciências da Universidade

do Porto

BIOPOLIS/CIBIO – Centro de Investigação em

Biodiversidade e Recursos Genéticos

Universidade de Coimbra

CES – Centro de Estudos Sociais da Universidade

de Coimbra

SOPSEC – Sociedade de Prestação de Serviços de

Engenharia Civil

Impressão

Minerva, artes gráficas

Março 2025

Depósito legal: 336727/11

ISSN 2184-6065

Tiragem: 200 exemplares

Publicação periódica

n.º 40. Ano XIV, março 2025

Propriedade

FEUP/DEC

R. Dr. Roberto Frias s/n

4200-465 Porto

Portugal

Tel./fax: + 351 22 508 19 40

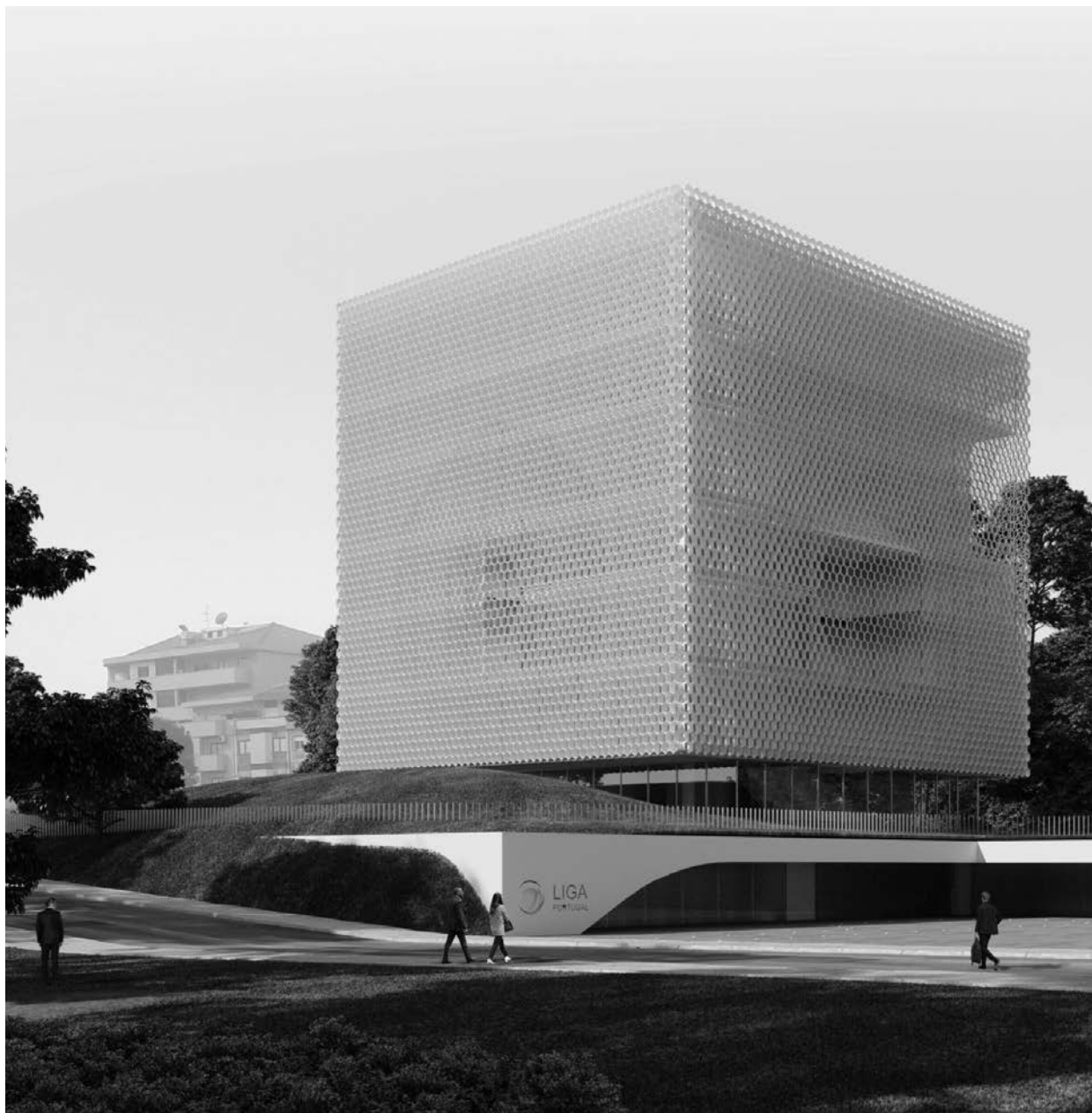
brangel@fe.up.pt

É proibida a reprodução sem a autorização escrita dos autores e do editor.

A exatidão da informação, os copyrights das imagens, as fontes das notas de rodapé, bem como a bibliografia, são da responsabilidade dos autores dos artigos, razão pela qual a direção da revista não pode assumir nenhum tipo de responsabilidade em caso de erro ou omissão.

A iniciativa “Fora de Portas engenharia civil à mostra”, resulta da colaboração entre o Departamento de Engenharia Civil da FEUP, a Mostra da UP e o Município do Porto. Realiza-se no contexto da iniciativa Porto Innovation Hub (PIH), que pretende envolver os cidadãos e visitantes da Invicta na descoberta da inovação que transformou a cidade nos últimos séculos. Através da visita a locais históricos e infraestruturas emblemáticas do Porto, procura-se demonstrar o impacto direto da inovação na melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O PIH é uma iniciativa do Município do Porto que pretende ser uma plataforma para o fortalecimento do ecossistema de inovação e empreendedorismo da cidade, contribuindo desta forma para que o Porto se possa destacar no panorama nacional e internacional como uma cidade inovadora e criativa. O PIH propõe a criação de um espaço de experimentação e laboratório vivo, potenciando cenários e oportunidades de desenvolver novos produtos, métodos ou conceitos à escala urbana, contribuindo, assim, para a cultura de transformação para a inovação.

Liga Portuguesa de Futebol





“O edifício da nova sede da Liga Portuguesa de Futebol foi projetado para integrar muito mais do que apenas os escritórios e áreas administrativas da instituição. Recebe programas distintos de carácter lúdico e desportivo. Desde a sua génese, o edifício foi pensado para fortalecer a conexão entre a cidade envolvente, a comunidade e a própria instituição da liga. Em resumo, o edifício funciona como um ícone no perfil da cidade, representativo da instituição que acolhe e uma âncora do tecido comunitário e natural que o envolve.” – João Jesus, Sócio da OODA.

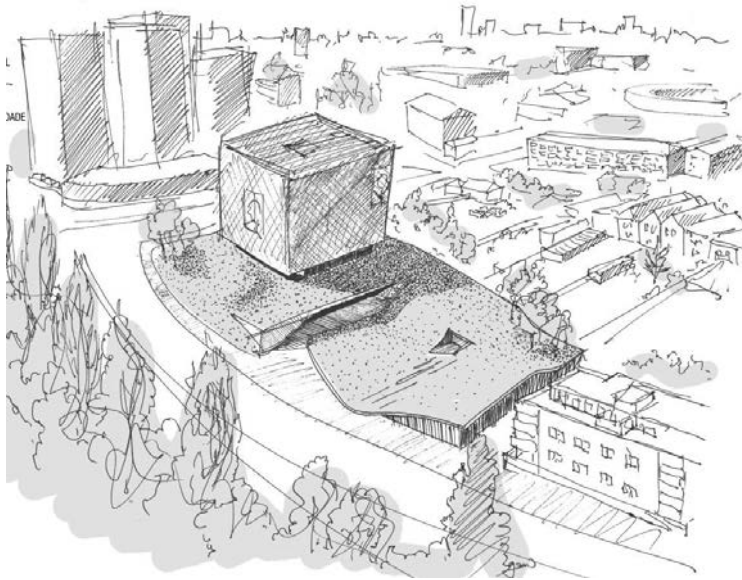
Este edifício multifuncional acolhe uma vasta gama de programas, incluindo escritórios, auditório, museu, pavilhão desportivo e uma ampla área ajardinada que conecta a estrutura ao espaço urbano envolvente. Embora aparentemente simplicidade na sua forma, a Arena Liga Portugal utilizou soluções arquitetónicas complexas.

Durante a pesquisa de referências, encontramos uma frase muito simples e interessante pertencente a um antigo jogador britânico Bill Shankly, também conhecido por ter sido o último treinador que fez subir o Liverpool

à Premier League (em 1964). Em tempos disse: “Que grande dia para jogar futebol, tudo o que precisamos é de um campo e uma bola”. Não quisemos ser literais e a imagem do projeto demonstra isso mesmo, mas também dá nota dessa inspiração. Por isso a cobertura verde do edifício é a extensão do parque ribeirinho e a ideia de bola surge no edifício branco, isolado e suspenso sobre o relvado.

Nas fases iniciais, foram exploradas múltiplas ideias e possibilidades para garantir que cada solução proposta acrescentasse valor ao projeto sem pôr em causa a sua visão. Esta busca por este traço envolveu um diálogo constante entre diversas entidades, permitindo que o edifício fosse moldado por diferentes perspetivas e necessidades.

O objetivo era criar um espaço que não apenas abrigasse as atividades da Liga Portuguesa de Futebol, mas também estabelecesse um diálogo com a cidade e a sua envolvente. A localização da Arena é estratégica para revitalizar uma região esquecida do Porto, enquanto o seu design visa transformá-la num local emblemático,



consolidando-se como um marco visual e funcional.

Na fase de desenvolvimento do projeto, a luz natural foi tratada como um dos elementos fundamentais. Cada vão foi planeado para capturar a luz solar e canalizá-la ao interior, criando uma narrativa visual rica em texturas e sombras. A interação entre luz e sombra pode transformar materiais como betão e vidro em elementos capazes de imprimir dinamismo aos espaços. Durante a noite, a Arena transforma-se em um farol urbano, com sua iluminação destacando as suas linhas geométricas na paisagem.

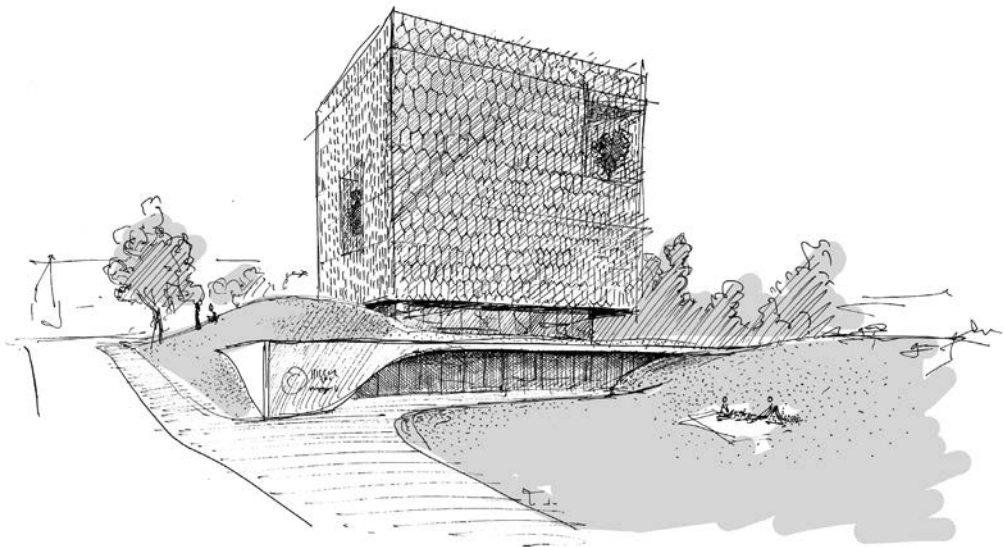
A forma do edifício permite que a luz assuma protagonismo, criando uma composição que muda ao longo do dia. A torre em forma de cubo, elemento distintivo da Arena Liga Portugal, a nossa abordagem foi criar um edifício que, embora funcional, também despertasse admiração pela sua forma e materialidade. A fachada, composta por hexágonos brancos, evoca o universo do futebol – desde a textura de uma bola ou a trama de uma baliza. Esses elementos simbólicos transformam o cubo em um manifesto visual da identidade da Liga

Portuguesa de Futebol, enquanto o uso do vidro e da fibra de vidro captura a luz em padrões geométricos que conferem dinamismo à superfície.

O *briefing* pressupunha a criação de uma praça e nós idealizamos que esta praça fosse um espaço que faz simultaneamente a ligação à cidade e a entrada do edifício. Queríamos também definir e separar as áreas mais públicas – que se desenvolvem no piso térreo, em volta da praça – dos pisos mais privados – que se desenvolvem na parte da torre. Por isso o projeto desenvolveu-se em torno destas ideias, onde sabíamos que podíamos apoiar o processo criativo. Juntaram-se ainda algumas referências que pretendíamos incluir no projeto, tal como a cobertura verde e a ideia de obter uma forma marcante e única como o cubo.

Foram estas linhas chave que permitiram testar uma série de opções volumétricas, nas quais a equipa de projeto procurou perceber qual a solução que responde melhor ao programa e aquela que poderia ter mais força. O projeto depois desenvolveu-se no equilíbrio destas duas frentes.





A génese do futebol

Ao desafio lançado pela Liga Portuguesa de Futebol para conceber o edifício para a nova sede, procurámos responder à pergunta: qual é a génese do futebol? A multiplicidade de enquadramentos é vasta e encontra-se entre a perspetiva histórico-social e a abordagem desportiva e competitiva. Houve a necessidade de adequar a resposta ao campo que mais se adequa, um campo que se encontra entre os dois anteriores e mais próximo da arquitectura: o espaço. Assim, a nossa procura focou-se nos objetos que estão na base do futebol. Neste ponto a citação do antigo jogador e treinador britânico resume bem a essência do futebol: o campo e a bola.

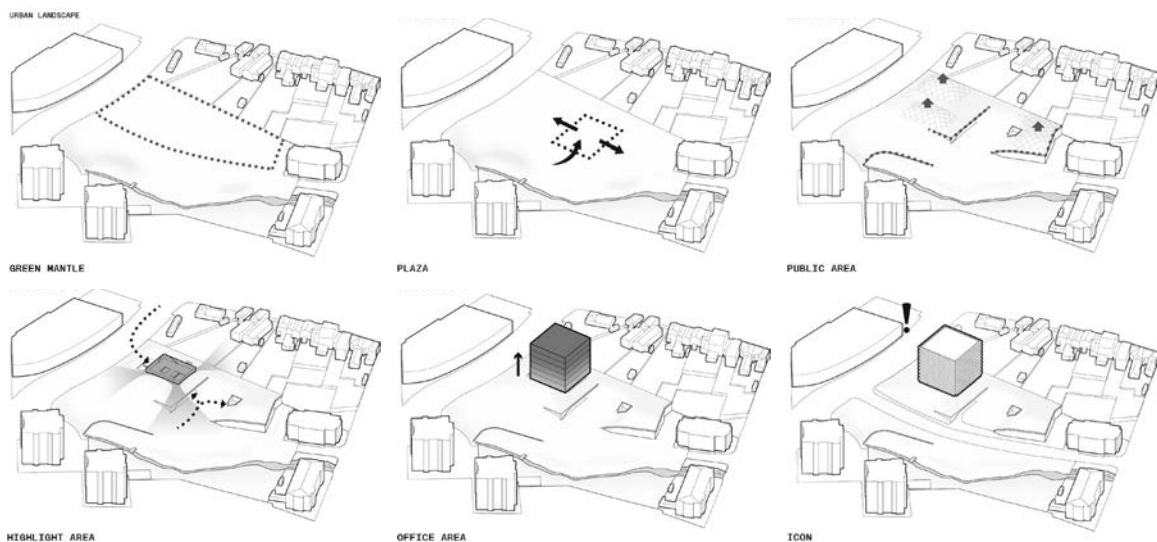
A base espacial e objetual do futebol é a base conceptual da nossa proposta. O Campo é representado pela extensão do parque da Ribeira da Granja, que potencia a ligação e utilização comunitária de lazer num espaço que se pretende aberto e percorrido; a Bola surge metaforicamente como a instituição do futebol para o novo edifício: um ícone que paira sobre o relvado.

Comunidade, ícone e cidade

O novo edifício para a sede da Liga é uma oportunidade de criar cidade nas suas múltiplas vertentes. O programa proposto percorre os vários tipos de utilização: público, comunitário, reservado e privado. Nesse sentido a complexidade envolvida neste local assemelha-se à complexidade que se encontra à escala do território.

A arquitectura tem a capacidade e responsabilidade de ligar as diferentes escalas e realidades de interação humana com o espaço. O projeto deve potenciar essas ligações, numa proposta única onde confluem os diferentes universos.

Ao abrir o espaço para a envolvente local, confere-se à cidade uma vertente lúdica que propício do próprio programa base. Com esse plano de fundo, em que o edifício tem funções de equipamento público, é necessário promover as restantes características da nova sede, o seu espaço reservado e privado. Esse deverá ser, na



nossa opinião, destacado e símbolo de uma instituição. Uma marcação territorial que constituirá um emblema para a cidade.

A ribeira da Granja, **é o maior curso de água do concelho** (14,4km) e possui uma das maiores bacias hidrográficas do concelho do Porto. Apresenta vários afluentes que abrangem as freguesias de Paranhos, Ramalde e Lordelo do Ouro. Encontra-se maioritariamente entubada (79,4%) e desagua no rio Douro.

As **brisas de vale ocorrem em movimento ascendente durante o dia** e processam-se através do deslocamento das massas de ar do fundo do vale [mais frio] para as encostas que progressivamente são aquecidas pela exposição e incidência da radiação solar. **Ao entardecer o processo inverte-se, devido ao mais rápido arrefecimento das encostas, apresentando o fundo do vale temperaturas mais elevadas.**

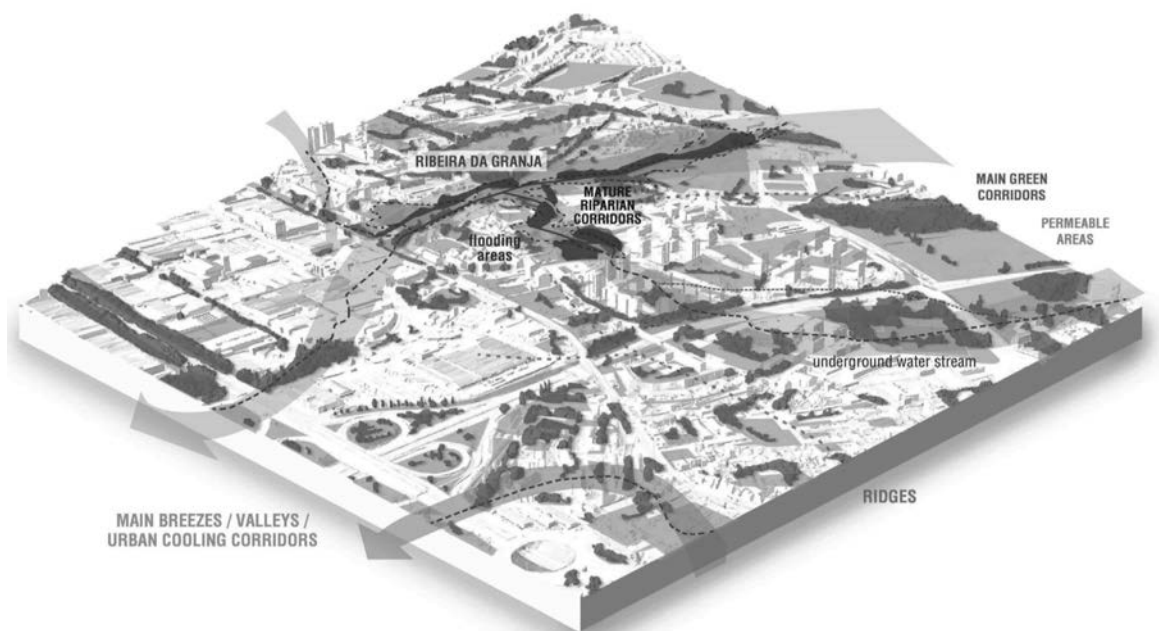
Estas brisas são essenciais para assegurar a diminuição dos níveis de poluição e melhoria da qualidade do ar, através do processo de renovação atmosférica, sendo também fundamental na regulação e controle

microclimático, através da atenuação do efeito da 'ilha de calor urbano' e redução da temperatura média, repercutindo-se na melhoria das condições de conforto e saúde da população (Albuquerque 2014)

A intervenção localiza-se numa área de ocupação predominantemente residencial, marcada por uma forte proximidade à zona industrial do Porto e aos principais eixos viários que servem a cidade (A20, A28, N14, Circunvalação). É ainda de salientar a vasta rede de transportes públicos que a serve.

Uma das características mais particulares da área de intervenção é a proximidade de uma zona de lazer ribeirinha, que representa um corredor ecológico de elevada relevância à escala concelhia.

O caráter residencial e familiar da zona da intervenção refletem-se na tipologia de equipamentos públicos e coletivos existentes, podendo a proposta contribuir também para a construção e prosperidade desta comunidade.



MORPHOLOGICAL ANALYSIS

Organigrama geral

Todo o edifício pretende ser um espaço fluído e aberto à comunidade onde o futebol desempenha um papel central fundamental. Procura-se por isso que todos os espaços de uso colectivo estejam dispostos em torno de um grande espaço exterior.

Esse espaço é flexível, mas orientador. É um relvado, uma praça, um campo, uma bancada, e remete-nos para o mundo do futebol. É através dessa centralidade que se faz a ligação à cidade, ao parque e à comunidade local.

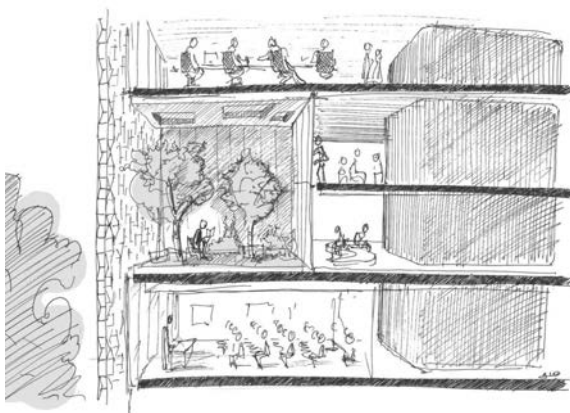
Corte programático

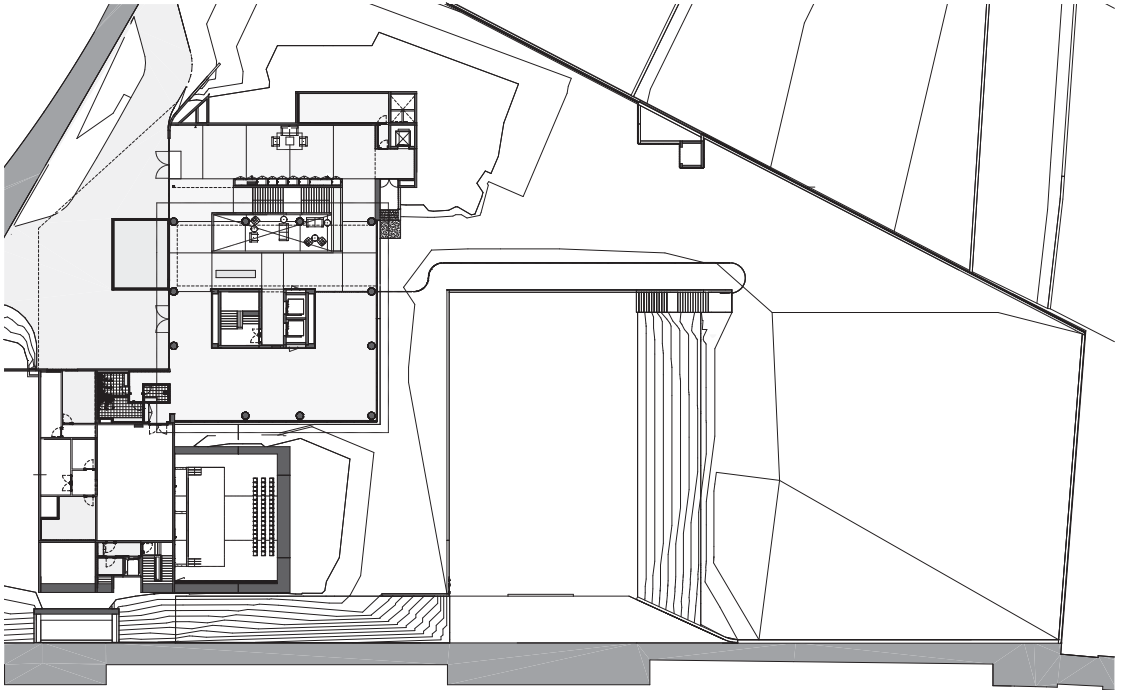
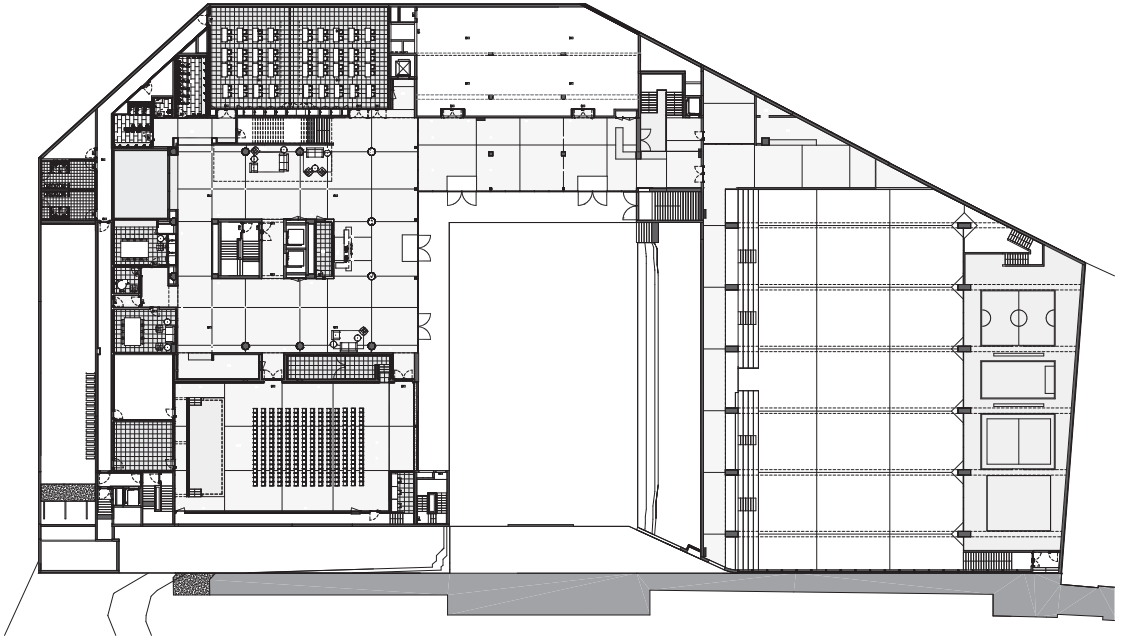
O programa divide-se em duas categorias o público e o privado.

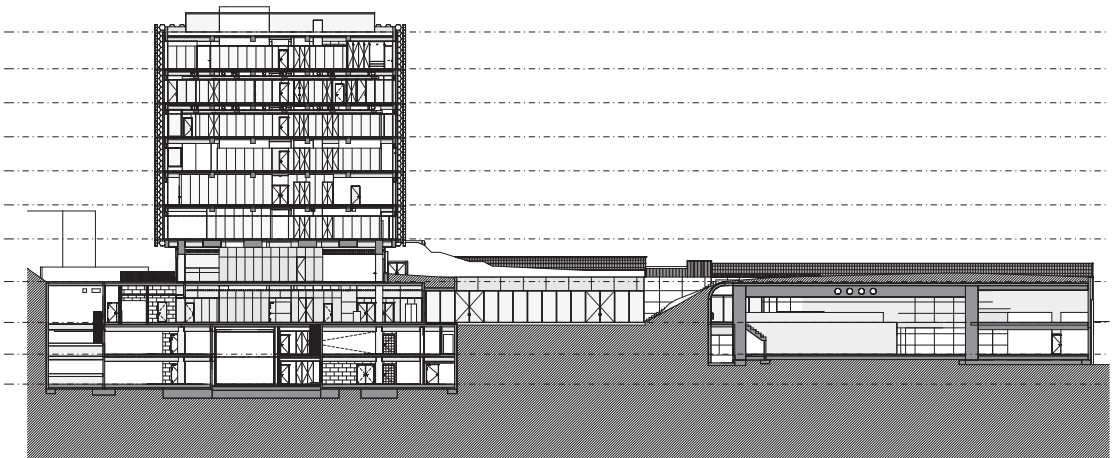
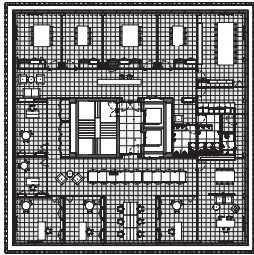
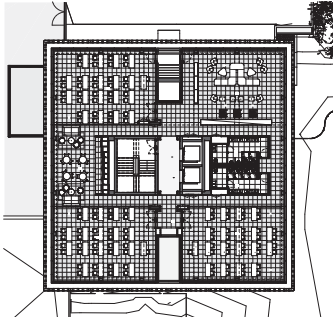
A zona pública estará maritotariamente no piso 0, com o Museu, Loja e o Futebol High-tech. Comporta ainda os espaços reservados, tais como o auditório e a sala multi-usos.

A restante volumetria desenvolve o programa privado, com o centro de investigação, as salas de formação e os escritórios da liga.

No piso 1, ao nível do parque e da rua, situa-se a zona de restauração e bar.







Flexibilidade de utilização



PLAZA

A praça de entrada é o momento central do edifício e encontra-se no ponto nevrálgico do terreno, fazendo a ligação ao parque verde. É um espaço misto que pode ser apropriado de diferentes formas, tanto pelos utilizadores diários do edifício, como pelos utilizadores casuais do parque.

Este espaço está desenhado de forma a acumular diversas morfologias: a praça central, a colina, a bancada e a pala coberta da entrada. É por isso um espaço ambivalente, com uma multiplicidade de usos que vão desde demonstrações e partidas de futebol até eventos, projeções, exposições, entre outros.

Tem ainda o *foyer* e o auditório como espaços fronteiros, com uma grande ligação entre todos, através da zona exterior coberta. Esta organização permite sompletar os eventos recebidos no interior com a vertente exterior abrigada e ao mesmo tempo abrir todo o espaço interior para o parque verde.



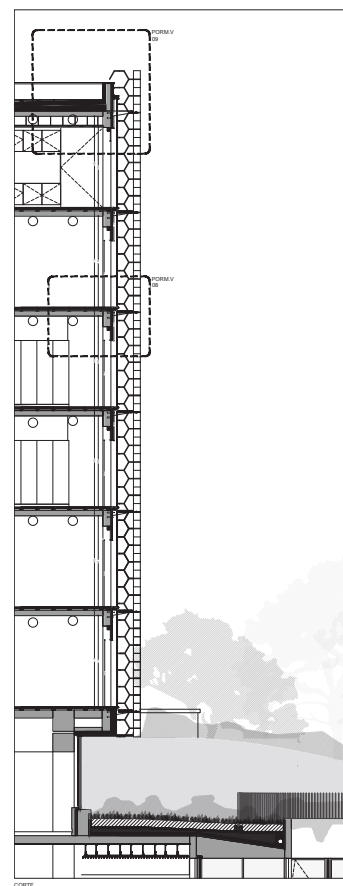
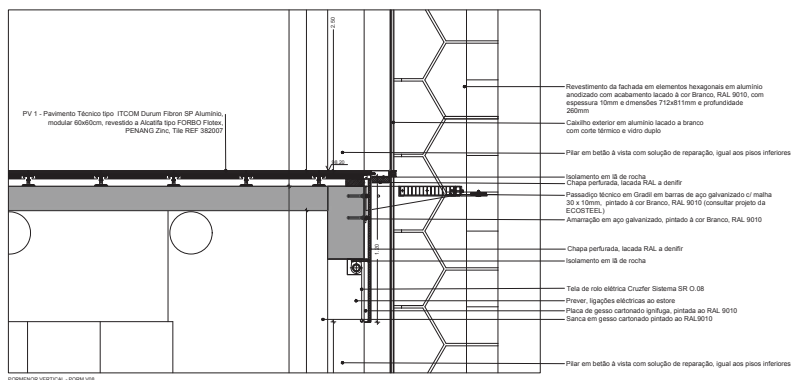
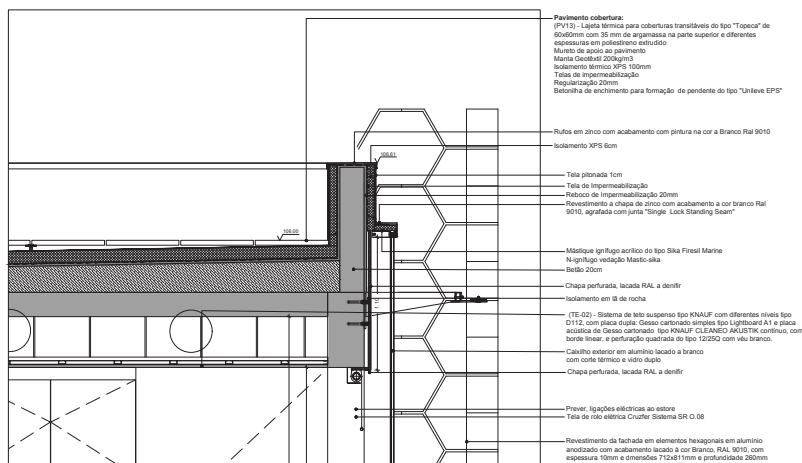
FUTEBOL HIGH TECH



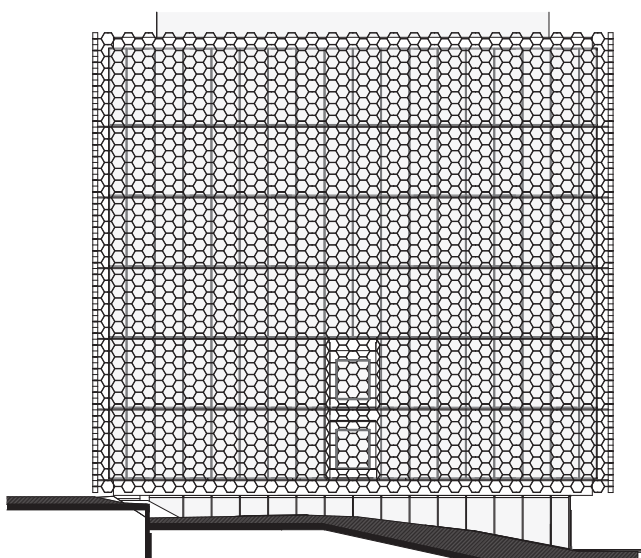
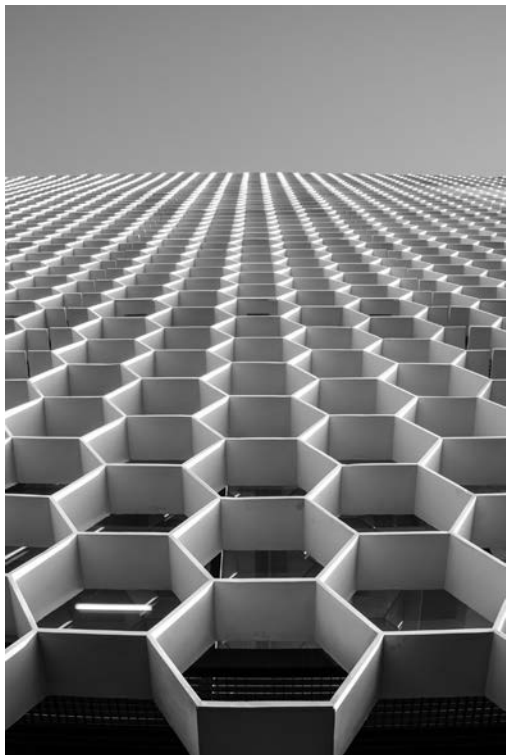
GREEN ROOFS

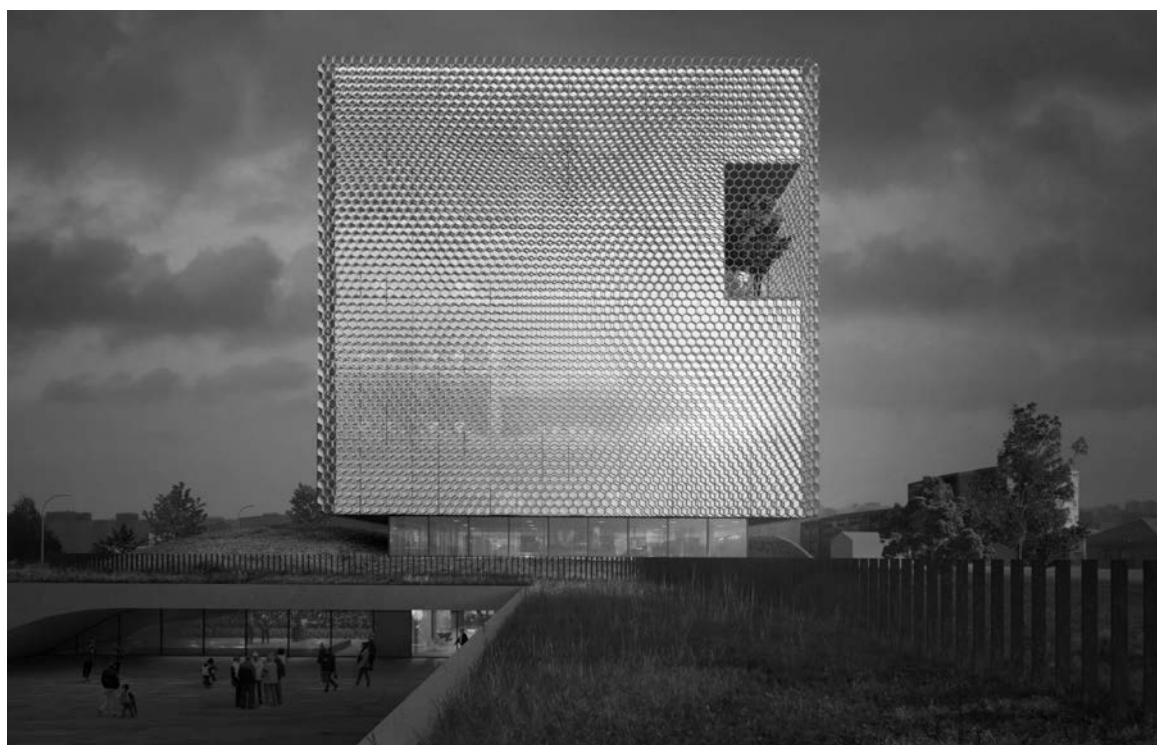
Fachada

A fachada do edifício deve transmitir o equilíbrio entre as suas funcionalidades (climatização, ensombramento, suporte para publicidade) e a sua imagem (a representação arquitectónica da instituição que representa). Idealmente esse equilíbrio deve potenciar ambas as vertentes. A proposta procurou essa optimização ao definir uma fachada cortina, que serve de pele e base de contacto com o universo do futebol. Foi desenhada uma grelha hexagonal, modular e de grandes dimensões, que filtra a luz exterior tornando-a ideal para o uso interior. Esse filtro desmaterializa o volume exterior, na medida certa para não o anular, mas criar a leveza e o aspeto etéreo pretendido. O sistema modular desta

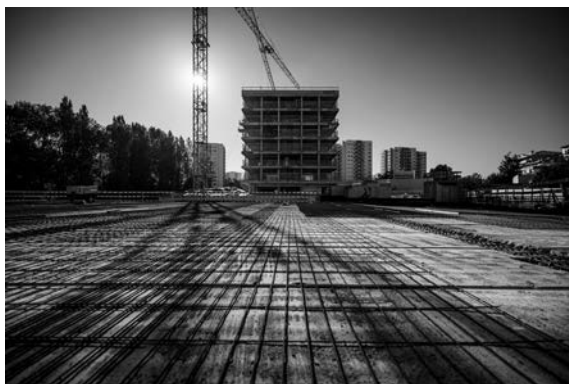


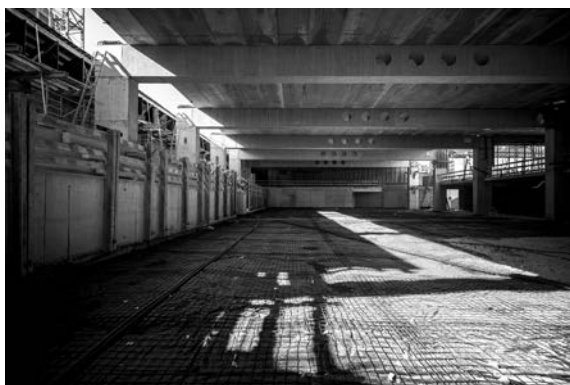
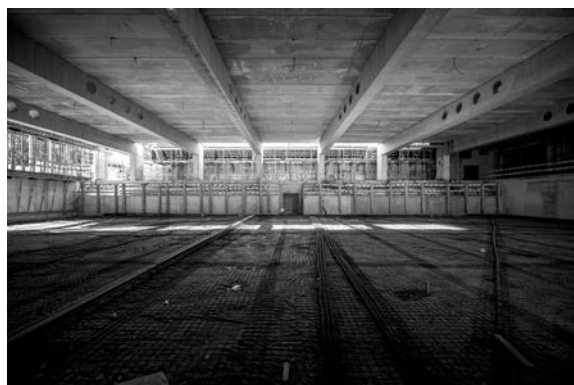
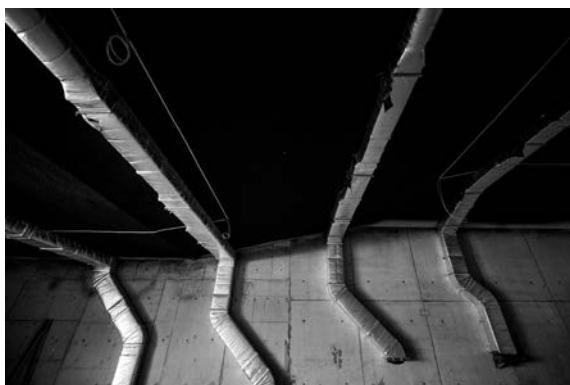
fachada-cortina, simplifica toda a construção e permite que se façam composições conforme a profundidade de cada módulo. Essa composição é feita na medida certa: sem fragmentar por completo a massa exterior, mas no ponto para criar o aspecto etéreo e diferentes luminosidades. Os momentos mais abertos foram criteriosamente escolhidos para coincidirem com os momentos de pé-direito duplo e/ou de varanda, como espaços “pulmão” dos pisos.



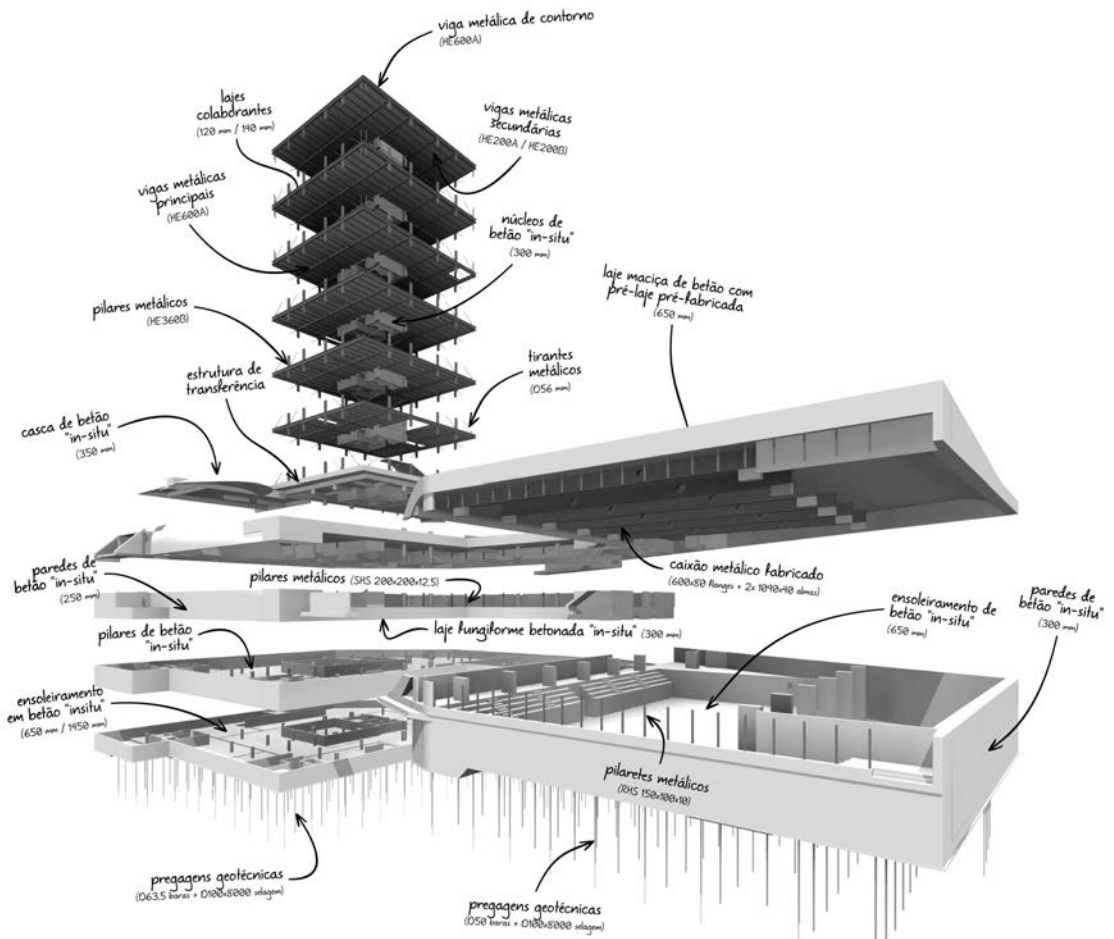


Fotos de obra





Engenharia



O papel da engenharia, num projecto deste tipo, é fulcral, sobretudo considerando a diversidade de programa e a complexidade da interação das suas componentes. Desde logo, sobressaíram vários desafios relacionados com a elaboração dos projectos, tanto em geral como nas engenharias em particular. As dificuldades mais proeminentes, na fase inicial, prenderam-se com o tempo de desenvolvimento do projecto e os aspectos relacionados com a coordenação das diversas disciplinas. Durante o desenvolvimento do projecto, outros factores contribuíram para acentuar estas dificuldades, nomeadamente, o facto de haver alterações e ajustes ao programa, tanto funcionais como espaciais, e o facto das localizações e dimensões das zonas técnicas estarem bastante condicionadas pela visão arquitectónica.

Metodologia – LAIII START Method

Actualmente, os engenheiros têm acesso a uma longa lista de ferramentas, referências e informações, bem como a um número crescente de regulamentos e exigências, sendo fácil ficar preso a esse excesso de opções. Ter demasiadas alternativas pode criar um ambiente de stress, dando lugar à perda do foco na procura ponderada das soluções mais adequadas, a decisões impulsivas ou até à resistência em sair da zona de conforto. Para evitar este tipo de armadilhas, do paradoxo da escolha e da “paralisia da análise”, deve seguir-se um processo cuidadoso.

Tendo isto em mente, a LAIII desenvolveu um processo de tomada de decisão denominado de LAIII START (Scorecard To Appraise the Right Targets) Method, com o objetivo principal de seleccionar a melhor solução dentro das circunstâncias apresentadas, em vez de procurar “a solução perfeita” que leva às consequências supramencionadas.

Enquadramento

Em termos gerais, um método de tomada de decisão consiste em definir objetivos, avaliar a importância de cada um deles, estabelecer um conjunto de opções, analisar a probabilidade de cada uma dessas opções permitir o alcance desses objetivos e, por fim, seleccionar a mais promissora. Isto pode parecer simples, mas o verdadeiro desafio reside na escolha dos objetivos certos. Estes podem ser infinitos, interligados, interdependentes e abstratos. Para solucionar esta questão, estabelecemos *Design Drivers* que condensam os objetivos em cinco categorias que, por sua vez, refletem os fatores mais importantes para todas as partes interessadas e decisores. Estes *drivers* são: Custo, Tempo, Sustentabilidade, Performance e Visão.

Custo: O esforço ou sacrifício, maioritariamente financeiro, necessário para atingir ou obter os objetivos do projecto.

Tempo: A rapidez ou duração prevista para alcançar os objetivos do projecto.

Sustentabilidade: A capacidade de manter um equilíbrio social, económico e ambiental ao atingir os objetivos do projecto.

Performance: A capacidade, essencialmente técnica, de cumprir os requisitos e metas do projecto.

Visão: A aptidão para alcançar os objetivos do projecto conforme as expectativas de todas as partes interessadas, especialmente do cliente e do arquitecto.

Afinal, a seleção das opções de projecto mais adequadas é uma tarefa holística e não matemática, o que significa que a melhor escolha para um fragmento do projecto pode não ser a melhor escolha para o conjunto.

As soluções finais devem ser sempre avaliadas com base numa perspectiva global, onde a experiência desempenha um papel essencial.

Processo

Tendo como ponto de partida o programa e a visão do projecto, concebemos uma série de ideias sem qualquer juízo inicial – até as mais ousadas podem desencadear outras mais adequadas e pertinentes. Este processo de *brainstorming* permite identificar ideias viáveis e convertê-las em opções de projecto que cumpram os requisitos estruturais e do programa.

A quantidade de características que podem ser

avaliadas é interminável, mas analisar todas não traria qualquer benefício prático. O verdadeiro refinamento surge da avaliação de um pequeno conjunto de design *drivers* que agrupam todas as características de forma coerente e refletem as preocupações dos diferentes intervenientes.

A nossa experiência demonstra que Custo, Tempo, Sustentabilidade, Performance e Visão são os atributos mais relevantes para uma tomada de decisão inteligente. Para adaptar estes *drivers* a um projecto específico, pode ser utilizado um sistema de ponderação, caso necessário.

A pontuação das opções de projecto com base nestes *drivers* leva à escolha da solução “certa”. No entanto, um projecto é um conjunto de decisões interligadas e deve ser analisado como um todo.

Este método destina-se a ser uma ferramenta para uma abordagem holística e não um resultado matemático absoluto.

Estruturas e Fundações

Exploração de Soluções

Para este projecto específico, dividimos o edifício em seis fragmentos: as fundações (e cave), a cobertura do auditório, a zona Hi-Tech (pavilhão), a restante área do pódio, a transferência do “Cubo” e o piso tipo no ‘Cubo’.

Fundações e Cave

De acordo com o relatório do estudo geotécnico do local, as condições do solo consistiam numa camada superficial de material de aterro sobre um estrato de solo granítico residual, com diferentes graus de decomposição (do altamente decomposto na parte superior até ao solo rochoso na parte inferior) e um nível freático elevado próximo da superfície (ao nível da ribeira), o que indicava que alguns desafios seriam enfrentados nas fundações. Embora a capacidade de carga do solo fosse suficiente para fundações directas simples do tipo sapatas, a presença do aquífero no solo residual e a possibilidade subsequente de flutuação (do edifício) acrescentavam complexidade à solução. Para resolver este problema, foram consideradas três opções, após excluir as fundações por sapatas devido aos elevados riscos de inundação, bem como os custos iniciais e operacionais de bombagem e drenagem associados.

Fragmento A Fundações	Opção de Projecto A.1 Ensoleiramento em Betão Armado com Espessura Constante	Opção de Projecto A.2 Ensoleiramento em Betão com Espessura Constante e Pregagens	Opção de Projecto A.3 Ensoleiramento em Betão com Espessura Variável e Pregagens
\$ Custo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
🕒 Tempo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
🌿 Sustentabilidade	★★★★★	★★★★★	★★★★★
📈 Performance	★★★★★	★★★★★	★★★★★
👁️ Visão	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Tradicional 🏠 Seleccionado 🏆 Pior ★★★★★ Melhor ★★★★★			

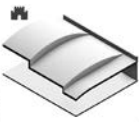
Pódio: Cobertura do Auditório

No piso térreo, oculto pela ‘camada verde’ do pódio, encontra-se um auditório com capacidade para 300 pessoas.

A cobertura do auditório cobre uma área de 19×27 metros e está sujeita ao seu próprio peso, à carga uniforme da cobertura verde e às sobrecargas associadas à circulação de pessoas.

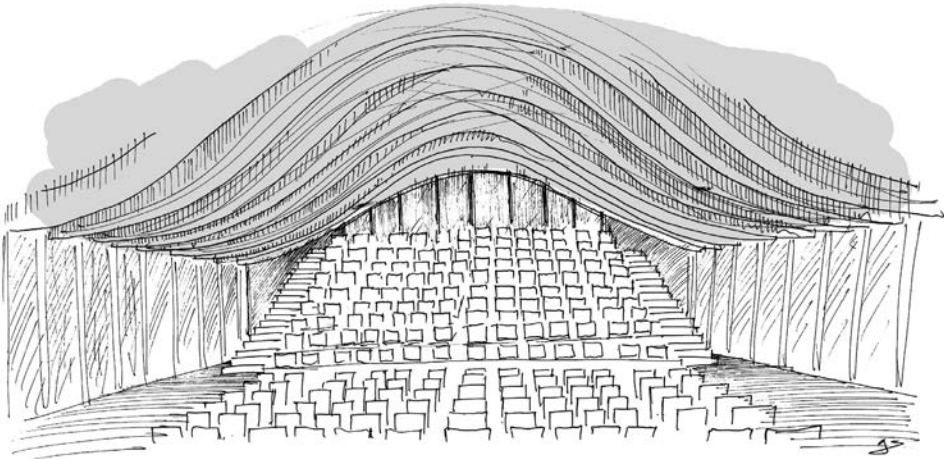
Neste sentido, a forma da cobertura precisava de assegurar dois requisitos arquitetónicos importantes. Internamente, era necessário garantir uma altura mínima livre estabelecida e, externamente, a forma da

cobertura estava condicionada pela topografia do paisagismo. Essas limitações levaram-nos imediatamente a um design de estrutura em casca, não só porque a sua forma responderia a esses requisitos, mas também porque a sua forma proporcionaria um desempenho estrutural superior. Naturalmente, o primeiro passo foi encontrar uma forma que equilibrasse múltiplos factores além dos anteriormente mencionados. O estudo foi realizado avaliando três opções de projecto diferentes e considerando as mesmas condições fronteira, particularmente a carga e apoios



Fragmento B Cobertura do Auditório	Opção de Projecto B.1 Bandas em Arco de Betão "in-situ" com Simples Curvatura	Opção de Projecto B.2 Casca de Betão "in-situ" com Dupla Curvatura Variável	Opção de Projecto B.3 Padrão Triangular de Lajes Planas de Betão "in-situ"
\$ Custo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
⌚ Tempo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
🌿 Sustentabilidade	★★★★★	★★★★★	★★★★★
⚙️ Performance	★★★★★	★★★★★	★★★★★
👁️ Visão	★★★★★	★★★★★	★★★★★

Tradicional 🏠 | Seleccionado 🏆 | Pior ★★★★★ | Melhor ★★★★★





Pódio: Zona Hi-Tech

Ao nível do primeiro piso da cave encontra-se uma área ‘High-Tech’, um espaço concebido para ter elevados padrões de design, funcionalidade e flexibilidade, destinado a actividades desportivas que, ao mesmo tempo, permite economias de tempo e custo pela utilização de princípios básicos de projecto e de construção.

Esta área, com mais de 7 metros de altura, exigiu um grande espaço livre de pilares para a prática de futebol e outras actividades.

Esses requisitos, além de outros relativos à ventilação, iluminação e acústica, levaram-nos a desenvolver uma solução simples e económica para esta cobertura com 25 metros de vão e com uma carga de cobertura verde por cima.

	Opção de Projecto C.1	Opção de Projecto C.2	Opção de Projecto C.3	Opção de Projecto C.4
	Vigas Mistas Standard com Laje de Betão "in-situ"	Vigas Metálicas Fabricadas com Laje de Betão "in-situ"	Vigas de Betão Pré-esforçadas com Laje de Betão "in-situ"	Vigas Pré-esforçadas, Pré-fabricadas em Betão e Laje Alveolar
	\$ Custo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
	⌚ Tempo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
	♻️ Sustentabilidade	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Tradicional 🏠 Selecionado 🏆 Pior 📉 Melhor 📈				

Pódio: Área Geral

Sobre a cave, uma vasta laje de pódio com cobertura verde assegura a materialidade de um campo de futebol.

O pódio é uma plataforma externa elevada que cobre a cave e a área Hi-Tech, e incorpora o auditório, o lobby e todas as restantes áreas no piso térreo. A superfície superior do pódio segue a paisagem, com diferenças significativas de altura entre os níveis superior e inferior, exigindo um cuidado especial no planeamento da forma de construção. Para este fragmento do edifício, foram consideradas três opções de projecto.

	Opção de Projecto D.1	Opção de Projecto D.2	Opção de Projecto D.3
	Laje Funiliforme de Betão com Enchimento em Blocos de Espuma	Laje de Betão "in-situ" com Espessura Variável (face inferior plana)	Laje de Betão "in-situ" de Espessura Constante e Forma Variável
	\$ Custo	★★★★★	★★★★★
	⌚ Tempo	★★★★★	★★★★★
	♻️ Sustentabilidade	★★★★★	★★★★★
Tradicional 🏠 Selecionado 🏆 Pior 📉 Melhor 📈			

O 'Cubo': Estrutura de Transferência

Para alcançar a visão arquitetónica de um ‘Cubo’ fluente com uma fachada de vidro e revestimento metálico com formas hexagonais, semelhante a uma bola e a uma rede de baliza, nós providenciámos ao cliente recomendações estratégicas sobre a forma e sobre os materiais estruturais. As nossas orientações cobriram

	Opção de Projecto E.1	Opção de Projecto E.2	Opção de Projecto E.3	Opção de Projecto E.4
	Vigas Pré-esforçadas de Betão "in-situ" e Pilares nos Cantos	Estrutura Metálica com Tirantes e Vigas de Transferência Fabricadas	Fachada de Betão "in-situ" em Vierendeel e Vigas de Transferência Pré-esforçadas	Trelça (cobertura) e Pilares Metálicos com Vigas de Transferência Fabricadas
	\$ Custo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
	⌚ Tempo	★★★★★	★★★★★	★★★★★
	♻️ Sustentabilidade	★★★★★	★★★★★	★★★★★
Tradicional 🏠 Selecionado 🏆 Pior 📉 Melhor 📈				

aspectos técnicos, financeiros, logísticos e de sustentabilidade. Um requisito fundamental foi a eliminação de pilares perimetrais e nos cantos ao nível da base, decorrentes dos pisos superiores, levando ao projecto de uma estrutura de transferência acima da entrada do edifício. Esse movimento audacioso exigiu a exploração de múltiplas possibilidades sem restringir a altura do edifício ou o layout interno.

Na fase de concepção, avaliámos previamente 12 esquemas estruturais diferentes. Oito foram excluídos devido ao alto impacto e às restrições em várias especialidades do projecto, incluindo as opções de suspensão a partir do topo, descartadas devido aos requisitos adicionais de altura e implicações urbanísticas. Consequentemente, as quatro opções de projecto preferidas foram consideradas viáveis para resolver as restrições e os desafios, apresentando oportunidades para desenvolvimento adicional.

O ‘Cubo’: Piso Tipo

Um estudo detalhado das opções de piso tipo foi realizado para: maximizar o espaço livre de pilares, reduzir o peso total a ser transferido na base e reduzir possíveis problemas de coordenação com as infraestruturas.

Foram avaliadas quatro opções distintas de projecto como soluções viáveis para a estrutura proposta, não apenas em termos de material ou forma de construção, mas também com alguma variação nas posições da malha estrutural.



Fragmento F Piso Tipo do “Cubo”	Opção de Projecto F.1 Vigas e Lajes de Betão “in-situ”	Opção de Projecto F.2 Lajes Mistas Aço-Betão com Vigas Metálicas Celulares	Opção de Projecto F.3 Lajes Fungiforme de Betão “in-situ”	Opção de Projecto F.4 Vigas de Betão Pré-fabricadas e Lajes Alveolares
\$ Custo	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
⌚ Tempo	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
♻️ Sustentabilidade	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
⚡ Performance	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
👁️ Visão	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★

Tradicional | Selecionado | Pior | Melhor

O ‘Cubo’

Sequência Constructiva

A sequência de construção da superestrutura do “Cubo” apresentou algumas particularidades, não apenas devido à existência de uma estrutura de transferência na base, mas também devido aos cantos em balanço, suspensos por tirantes diagonais.

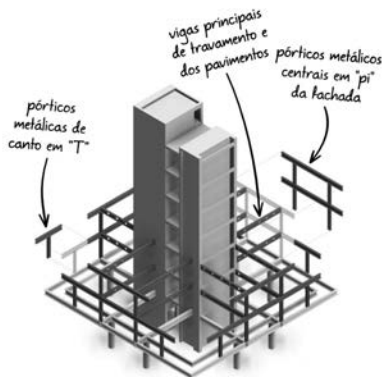
O faseamento construtivo foi pensado de modo a evitar a necessidade de escoramento temporário, permitindo uma construção mais estável e rápida. Além disso, as dimensões dos componentes metálicos pré-montados/fabricados fora do local da obra foram projectados para permitir o transporte e elevação adequados durante a montagem.

De forma simplificada, a sequência de construção, que foi proposta, é descrita abaixo, através das seguintes etapas:

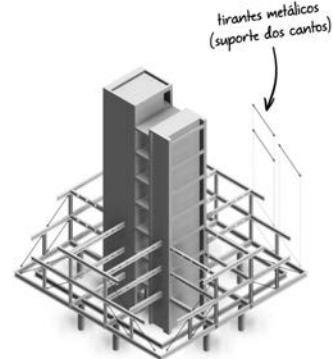
1. Conclusão do núcleo e dos pilares de betão:
Antes do início da montagem do aço, é necessário concluir a construção do núcleo de betão e dos pilares de suporte.
2. Montagem das vigas de transferência em aço:
Após a conclusão do núcleo e dos pilares, montam-se as vigas de transferência em aço, que proporcionam suporte aos pilares superiores de bordo.
3. Montagem da estrutura metálica:
Após a instalação das vigas de transferência, a montagem da estrutura metálica é realizada, começando do canto da fachada em direção à zona central (estável) da fachada, formando uma estrutura em “Pi” (π), colocada sobre a extremidade das vigas de transferência. Neste estágio, também são colocadas as vigas metálicas principais (perpendiculares à estrutura metálica da fachada), que fornecem a devida estabilização através do núcleo.
4. Instalação dos tirantes diagonais:
Para suportar a estrutura horizontal que se estende até aos cantos, são instalados tirantes diagonais, garantindo que os andares inferiores fiquem estáveis.
5. Repetição do processo nos andares superiores:
Assim que os pisos inferiores estejam suficientemente estáveis, a sequência anterior é repetida nos pisos superiores. A montagem prossegue verticalmente,



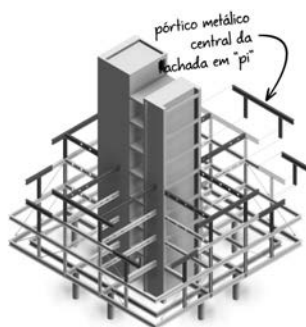
Fase 1:
Montagem das
Vigas de Transferência



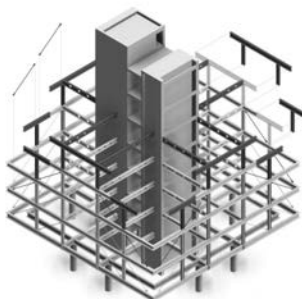
Fase 2:
Elevação do Aço Central
e Inferior da Fachada



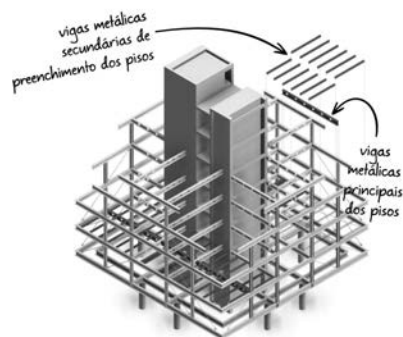
Fase 3:
Montagem dos Tirantes
de Suporte dos Cantos



Fase 4:
Elevação do Aço da
Fachada Central



Fase 5:
Elevação do Aço dos
Pisos Superiores



Fase 6:
Instalação das Vigas
Secundárias e Lajes

piso a piso, de forma simétrica, até ao nível da cobertura. A tensão nos tirantes é induzida de forma gradual e natural. Durante essa fase, o sistema de tirantes é ajustado para compensar os deslocamentos dos cantos em balanço e também para possíveis tolerâncias dimensionais da estrutura. Os tirantes também são instrumentados para monitorar os níveis de tensão/deslocamento.

6. Montagem da estrutura secundária:

Após a montagem da estrutura metálica principal, a estrutura metálica secundária começa a ser preenchida ao torno das vigas principais, começando nos pisos inferiores, continuando verticalmente até o topo.

Esta sequência de construção permite não apenas a estabilidade imediata dos andares inferiores, mas também um progresso contínuo e seguro até à conclusão da superestrutura, com uma monitorização eficaz das tensões e deslocamentos durante todo o processo.

Robustez

A estrutura foi projectada para garantir uma robustez adequada, de modo a minimizar o risco, a probabilidade e a extensão dos danos em caso de um evento extremo. Danos localizados na estrutura devido a eventos acidentais são geralmente aceitáveis, desde que não comprometam a estabilidade global da construção.

As estratégias de robustez que foram adoptadas estão em conformidade com os requisitos dos Eurocódigos (EN 1991-1-7), garantindo que o edifício suporta falhas localizadas sem colapso desproporcional.

Além disso, foram implementadas medidas adicionais para reforçar a robustez da estrutura, especialmente em termos de redundância e detalhe.

Classificação do Edifício

De acordo com a EN 1991-1-7, o edifício foi categorizado na classe de consequência do grupo de risco superior (2b – Grupo de risco superior), correspondente a um edifício de escritórios com mais de quatro pisos, mas sem exceder os 15. Dentro desta classe, podem ser aplicados três métodos alternativos:

- Cintagem (Tying)
- Supressão de suportes (*Notional removal*)
- Elementos críticos (*Key element*)

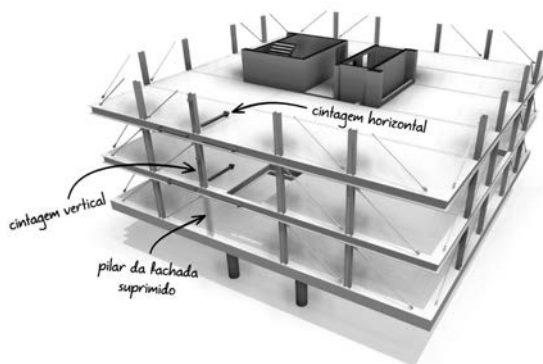
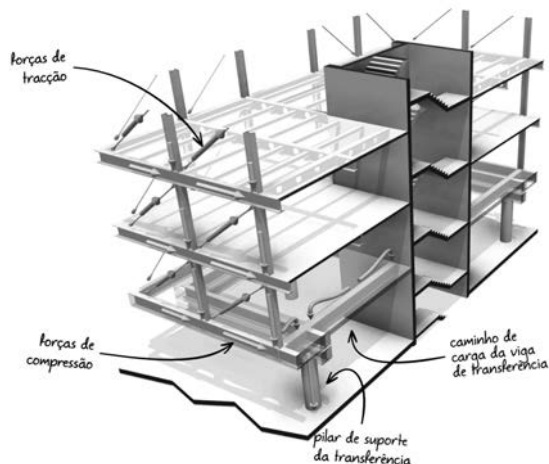
Nesse sentido, para este projecto, foi feita uma combinação de estratégias. Para a estrutura geral, foi aplicada a estratégia de cintagem (tying). No entanto, para a estrutura de transferência na base do 'Cubo', foi utilizada a metodologia de supressão de suportes.

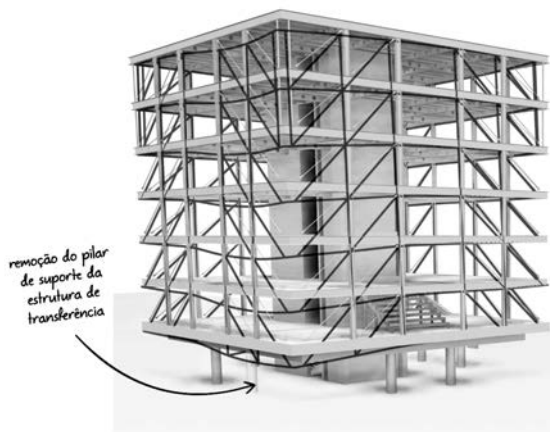
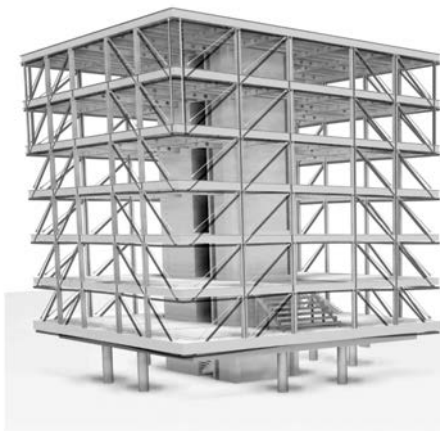
Cintagem (Tying)

A estratégia de cintagem aplicada, através de ligações horizontais e verticais, ajuda a mobilizar a redundância estrutural e a desenvolver caminhos alternativos de carga em caso de eventos acidentais.

Os pisos acima de um pilar removido devem ser capazes de se manter coesos e suspensos a partir da estrutura superior. Em cada nível, sobre o pilar removido, forças em catenária são desenvolvidas para compensar a perda do apoio (como mostrado nos diagramas).

Os tirantes verticais devem ser capazes de resistir a uma força acidental de tração proveniente de qualquer piso. Quando a base de um pilar não se encontra ao nível da fundação, esta deve ser ligada verticalmente à





estrutura correspondente a esse nível.

Para este cenário, as forças de cintagem verticais e horizontais calculadas foram de 375 kN e 150 kN, respetivamente.

Supressão de Suportes (*Notional Removal*)

A EN 1991-1-7 não fornece diretrizes específicas para vigas de transferência. No entanto, dada a importância deste elemento estrutural e seguindo recomendações internacionais, foi simulada a remoção acidental de um dos pilares verticais na base, responsável pelo suporte das vigas de transferência do 'Cubo'.

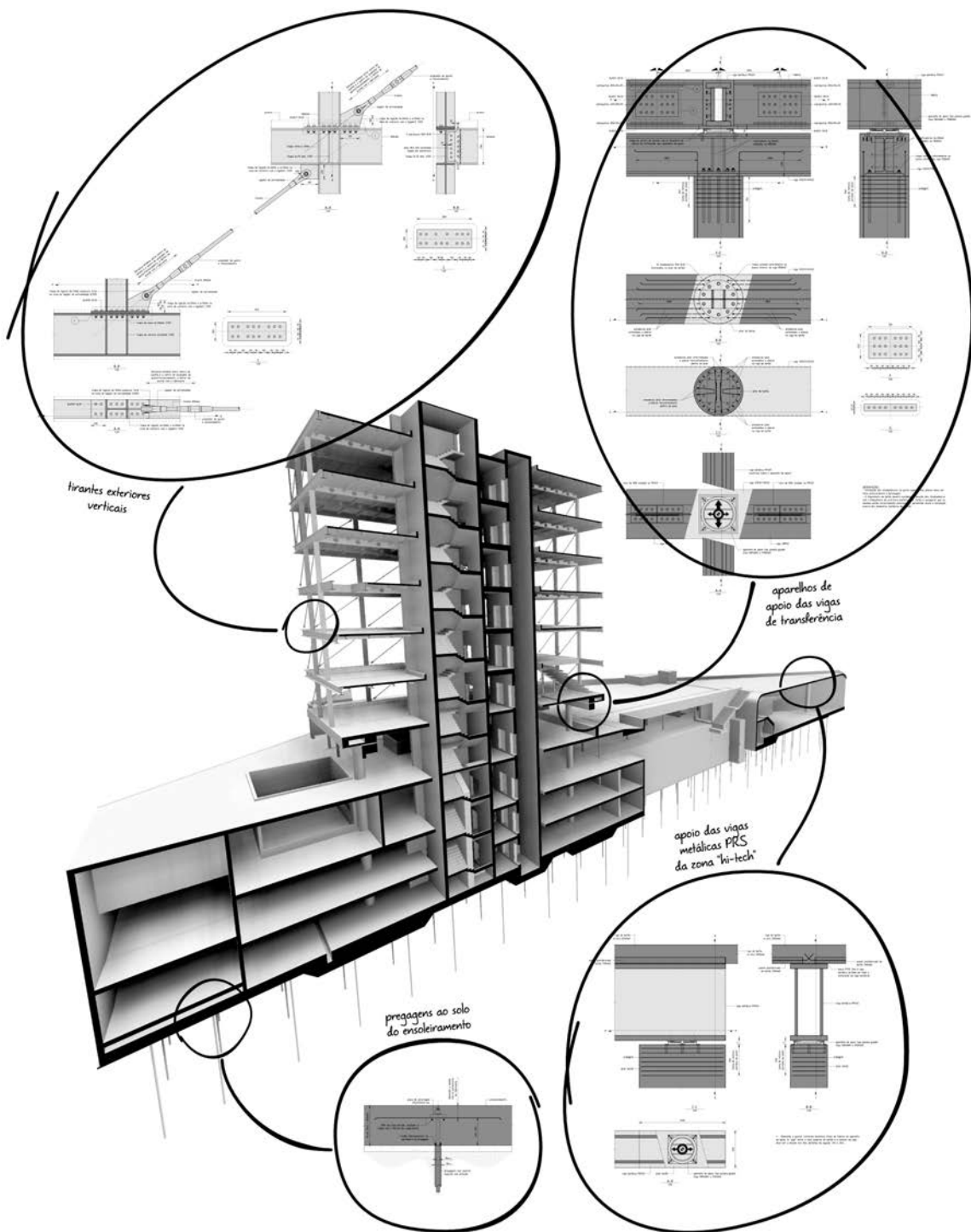
Numa situação acidental em que a viga de transferência perde o pilar de suporte, o efeito de Vierendeel do pórtico estrutural perimetral do 'Cubo' é mobilizado, permitindo a redistribuição dos esforços para a estrutura superior e adjacente. Além disso, a viga de transferência apresenta robustez adicional devido ao comportamento monolítico global da laje de transferência, composta por uma série de vigas metálicas que se restringem mutuamente e estão integralmente revestidas por betão. Assim, em caso de um evento acidental, esse comportamento monolítico proporciona redundância adicional devido à continuidade e à amarração da armadura.

Como demonstrado, a estrutura do 'Cubo' actua como um corpo rígido, e o aumento do deslocamento vertical resultante da perda do apoio provoca a rotação da estrutura tanto em torno dos núcleos (efeito global de torsão) como também de uma alavanca sobre o pilar remanescente.

O deslocamento vertical total neste cenário aumenta para 123 mm, aproximadamente três vezes o deslocamento da estrutura sem a remoção do pilar, considerando a mesma combinação de carga acidental.

O dimensionamento dos elementos estruturais não foi, em geral, governado por esta condição, uma vez que o cenário de incêndio (acção de Vierendeel da fachada sem os tirantes activos) foi mais exigente para a estrutura.

Foi verificado que os elementos estruturais permanecem dentro da capacidade máxima nestas circunstâncias.



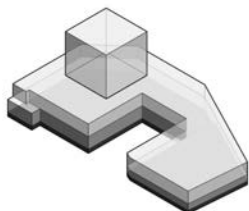
Sustentabilidade

O objetivo do estudo foi o de entender a pegada de carbono incorporado da estrutura e a variação de carbono incorporado nas suas diferentes partes (A, B, C e D). Foram realizados estudos desde a fase de concepção até ao projecto de execução, e para cada fase de projecto, tendo a solução estrutural sido modelada volumetricamente, foi possível obter os dados das quantidades de materiais e de carbono e traduzi-los em mapas gráficos. O cálculo do carbono incorporado foi realizado utilizando o guia de carbono incorporado do IStructE (A1-A5).

Partes do Edifício em Estudo

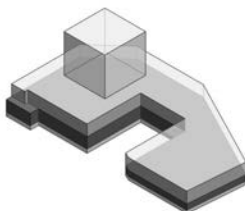
Parte A

ABC: 5 050 m²



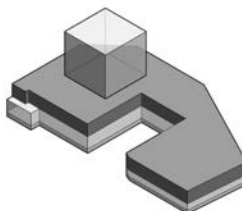
Parte B

ABC: 2 990 m²



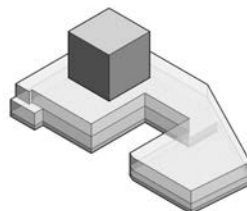
Parte C

ABC: 8 410 m²

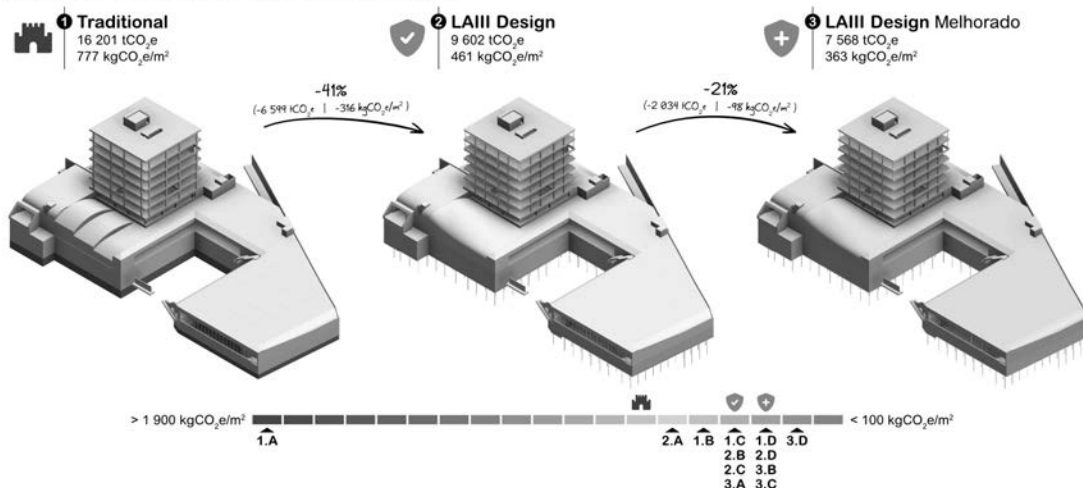


Parte D

ABC: 4 390 m²



Mapas do Carbono Incorporado no Edifício









Dono de obra

Liga de Futebol HQ

Local de obra

R. John Whitehead n.º 69, 4250-540 Porto

Construtor

CASAIS

Coordenação

OODA Oporto Office for Design and Architecture

Projecto de arquitectura

OODA Oporto Office for Design and Architecture

Projecto de arquitectura paisagista

P4

Coordenação projectos de especialidades

LA-III

Estruturas

LA-III

AVAC

LA-III

Térmica

3 ENGENHARIAS

Electricidade | Gás | ITED

FNT Engenharia, Lda

Segurança contra incêndios

LA-III

Instalações hidráulicas

LA-III

Condicionamento acústico

LA-III

