

# MATERIAIS EMERGENTES NA ARQUITETURA

## PROJETO FINAL DE ARQUITETURA

Candidato: Ricardo Alexandre Fogaça de Carvalho

### ORIENTADORES:

Vertente Prática:

Arq. Pedro Viana Botelho - Auxiliar Convidado

Vertente Teórica:

Arq. Vasco Moreira Rato - Auxiliar Convidado

ISCTE-IUL | Departamento de Arquitetura e Urbanismo | Mestrado Integrado em Arquitetura



À memória eterna dos meus avós paternos e do meu avô materno

“A arquitetura é uma ciência, surgindo de muitas outras, e adornada com muitos e variados ensinamentos: pela ajuda dos quais um julgamento é formado daqueles trabalhos que são o resultado das outras artes”

(Vitruvius, Marco)

## AGRADECIMENTOS

A Arquitetura, enquanto ciência multidisciplinar, pode ser encarada como produto de ambientes e espaços arquitetónicos, projetados e edificados pelo Homem. Através destas particularidades disponibilizadas, foi possível realizar o Projeto Final de Arquitetura. Com a evolução e progressos, decorrentes da inserção no curso de Arquitetura, foi-me dada a oportunidade de partilhar histórias e desenvolver laços importantes para o esclarecimento de questões decorrentes da imprevisibilidade que a Arquitetura, por vezes, detém.

Assim, não só acolhi com ambição este Projeto Final, como abracei o desafio de abordar um tema emergente na Arquitetura - Materiais emergentes. A combinação entre a vertente literária e a prática de projeto foi altamente enriquecedora e desafiante. Contudo, não poderia ter feito o presente trabalho sem a ajuda de diversas pessoas, indispensáveis na delineação e construção do mesmo.

Um especial agradecimento, desde já aos meus pais, Helena Carvalho e Carlos Carvalho, irmão, Miguel Carvalho, avós, Benilde Fogaça e José Fogaça (entretanto falecido), tios, Helena Meneses e Luís Ventura e restantes familiares, pelo investimento nas minhas habilitações literárias, pelo apoio e compreensão prestados nas diversas decisões e trabalhos ao longo do meu percurso académico. À Marta Salgueiro, pelo

incentivo, ajuda, amizade, persistência e paciência concedidos ao longo do tempo.

Aos meus amigos e colegas, em especial João Louro, Francisco Alves, Daniel Fernandes e Pedro Gaspar, pela camaradagem, amizade e apoio prestados, pelas risadas, conversas e noitadas de trabalho.

Aos meus amigos e professores, Arquiteto José Manel Almeida, Arquiteto Luís Costa Pereira e professora Sandra Oliveira pela sempre presente disponibilidade.

À instituição ISCTE-IUL (Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa- Instituto Universitário de Lisboa) e seus integrantes pelos serviços prestados.

Aos meus orientadores, Arquiteto Vasco Moreira Rato e Arquiteto Pedro Viana Botelho, pela paciência, disponibilidade e acompanhamento prestado nesta última etapa universitária.

Agradeço, ainda, aos restantes professores pelos conhecimentos transmitidos no meu desenvolvimento enquanto aprendiz de Arquitetura.

A todos vós, um bem-haja e um sincero agradecimento,  
Ricardo Alexandre Fogaça de Carvalho.

# ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	4
VERTENTE PRÁTICA	9
INTRODUÇÃO	10
SETÚBAL	13
ESTRATÉGIA DE GRUPO	29
ESTRATÉGIA INDIVIDUAL	39
FOTOMONTAGENS	59
MAQUETAS	67
DESENHOS	75
REFERÊNCIAS	111
VERTENTE TEÓRICA	123
RESUMO	125
ABSTRACT	127
ÍNDICE	128
ÍNDICE DE FIGURAS	130
CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	133
BREVE SÍNTESE HISTÓRICA DOS MATERIAIS NA ARQUITETURA	137

O QUE SÃO MATERIAIS EMERGENTES	145
MATERIAIS EMERGENTES	153
A CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA	199
CONCLUSÃO	227
BIBLIOGRAFIA	235
BIBLIOGRAFIA DE IMAGENS	245



**VERTENTE PRÁTICA**  
**BIBLIOTECA MUNICIPAL MANUEL DU BOCAGE**

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho de Projeto Final, elaborado no âmbito do Mestrado Integrado em Arquitetura, é o resultado de uma intensa e complexa investigação que tem como intuito encerrar um período de formação académico. É caracterizado por uma vertente prática, que aprofunda as várias escalas de projeto e que remete a condicionantes históricas, culturais e biofísicas; análises da memória da paisagem e do lugar; enquadramento legal, económico e político sobre a cidade de Setúbal e, uma vertente teórica, onde se pretende conhecer, delinear e refletir acerca dos materiais emergentes.

Contudo, é importante referir que a plenitude deste trabalho segue as normas relativas ao corrente acordo ortográfico da Língua Portuguesa, sem não esquecer que a utilização de figuras e citações foram devidamente referenciadas segundo o autor e a obra.

O exercício anual prático, orientado pelo Arq. Pedro Viana Botelho e desenvolvido em grupo, consistia na criação de uma estratégia para resolver os problemas e as oportunidades (com edifícios de carácter público) dadas à cidade de Setúbal. No decorrer da sua execução, foram efetuadas reuniões, visitas de estudo e aulas de apoio. Sob a orientação do Arq. Vasco Moreira Rato, a vertente teórica passou pela leitura de textos alusivos aos materiais emergentes, com recurso a livros, artigos científicos e

publicações fidedignas online e, também, por reuniões e sessões de apoio, de modo a ultrapassar as dúvidas e dificuldades existentes.

Setúbal é uma cidade que se desenvolveu, maioritariamente, junto ao rio, contudo, apenas a partir do séc. XIX se constata um significativo progresso em praticamente todo o território, nomeadamente na zona Este. É neste contexto que surge, assim, a oportunidade de estudar a zona de Setúbal, enquanto urbanização localizada junto ao estuário do Rio Sado. Pode considerar-se esta urbanização um caso de estudo, onde foi integrada uma nova forma de planeamento, pela remoção do comboio pesado, que dividia a cidade em dois troços e distinguia a zona fabril, frente de rio, da zona habitacional, por um comboio leve. Contudo, o desenvolvimento massivo realizado a nível de bairros operários, com a construção de habitações e escolas, levou à ausência de edifícios públicos como sejam bibliotecas, museus, hospitais, entre outros. Neste sentido, tornou-se relevante a edificação de uma biblioteca, para ligar os bairros operários à Av. Luísa Todi que, por sua vez, é o eixo estruturante da cidade de Setúbal, numa tentativa de consolidação da frente ribeirinha.



**VERTENTE PRÁTICA**  
**SETÚBAL**  
**A MEMÓRIA**

## CONTEXTO HISTÓRICO

A cidade de Setúbal, localizada na margem Norte do Rio Sado, é cercada a Noroeste pela Serra da Arrábida e o seu passado e presente encontra-se intimamente ligada ao Estuário do rio Sado.

No subsolo da cidade, a partir de vestígios arqueológicos, pode presumir-se que a ocupação humana deste território remonta ao início da Idade do Ferro, em meados do séc. VII a.C. (Saraiva, et al., 1990). Setúbal foi, em tempos, um entreposto comercial aberto com ligações comerciais em toda a rede mercantil do mediterrâneo (Braga, 1998).

Cetóbriga, nome dado pelos Romanos às atuais ruínas romanas de Tróia, foram caracterizadas pela sua importância enquanto centro de pesca e salga do peixe (Braga, 1998). Também os árabes se fixaram em Setúbal, batizando a pequena localidade na foz do rio, de Xetubre, tal como o próprio rio. No entanto, foi com a ocupação Cristã que



MEMÓRIAS DE SETÚBAL

emergiu o nome que ainda hoje persiste - Setúbal (Braga, 1998).

Uma vez que a cidade romana ficou submersa pelo rio e a ausência de vestígios de edifícios do séc.XII levaram ao surgimento de terrenos pantanosos que apresentavam condições favoráveis à criação de salinas. Foi, portanto, de forma bastante natural que se começaram a instalar nestas zonas os salineiros e, conseqüentemente, a fixação das primeiras povoações pós-romanas (Braga, 1998).

No séc. XV, em 1410, iniciou-se a construção do Convento de São Francisco e em 30 de Setembro de 1458, D. Afonso V parte de Setúbal para a conquista de Alcácer Ceguer (Saraiva, et al., 1990). Entre 1481 e 1485, a sede da Corte Portuguesa transitou temporariamente para Setúbal tendo, em 1490, D. Manuel ordenado a edificação do emblemático Convento de Jesus (Silva, 1990). Em 1514, D. Manuel entregou uma nova Carta Foral à cidade de Setúbal, como estratégia para a “(re)fundação” do reino (Setúbal: Município participado) e, em 1533, D. João III concede

“um plano de melhoramentos urbanos, para fazer de Setúbal uma ‘linda cidade’” (Saraiva, et al., 1990, p. 21). Com estes acontecimentos, a cidade e respetivo estuário adquirem cada vez mais importância a nível nacional (Saraiva, et al., 1990).

Anos mais tarde, em 1578, iniciou-se um período no qual Setúbal “foi a cidade que mais resistiu ao domínio Filipino” (Saraiva, et al., 1990, p. 22), com a construção das novas muralhas da cidade, abrangendo o bairro de Troino e Palhais, em 1640 (Saraiva, et al., 1990). Durante o séc. XVIII, Setúbal afirma o seu porto comercial sendo, então, considerada como a “metrópole do sal”. Com o terramoto de 1755, a cidade ficou destruída mas logo foi reconstruída, com o esforço e meios da população local (Ameal, 1950), ao contrário de Lisboa que séculos depois ainda apresentava ruínas do terramoto (Saraiva, et al., 1990).

No séc. XIX, inaugurou-se a Avenida Luísa Todi, com a inserção de calçada e arborização nas ruas; construiu-se o Telégrafo; fundou-se a Sociedade Arqueológica Lusitana, a

primeira existente em Portugal que procede às escavações em Tróia; melhorou-se o porto; ergueu-se o Farol; ampliou-se o cemitério de Nossa Senhora da Piedade; procurou-se água potável; criaram-se associações profissionais, de mutualidade e cooperativas; construíram-se novas estradas; substituíram-se os lampiões de azeite por iluminação a gás; uma linha de vapores que ligava Lisboa a Setúbal, o caminho-de-ferro ascendeu de Pinhal Novo a Setúbal e a formação de novos bairros - Salgado, Monarquia, Santos Nicolau, Conceição, Carmona, Liceu e Montalvão. Também se desenvolveram as indústrias do cimento; da pasta de papel; dos adubos; das conservas, principalmente a de sardinha, produzida em Setúbal; naval e metalomecânica pesada (Saraiva, et al., 1990). É no final deste século, em 1860, que “o rei D. Pedro V deu à vila o prémio de cidade” (Saraiva, et al., 1990, p. 23).

## O PORTO DE SETÚBAL

A história da cidade de Setúbal sempre esteve relacionada com atividades ligadas ao mar. O porto teve e continua a ter, um papel fundamental no desenvolvimento socioeconómico de toda a zona, principalmente na zona turística de Tróia, tendo sido considerado o mais importante porto de pesca e centro de conservas de peixe em Portugal. As obras que sofreu em 1923 foram impulsionadas por uma entidade própria, que mais tarde se veio a designar de Administração dos Portos de Setúbal e Sesimbra (APSS) (Saraiva, et al., 1990).

Durante o período de 1930 a 1934, a linha de costa sofreu muitas transformações com a elaboração de várias docas, estacadas atracáveis e com a regularização da margem direita do rio. Posteriormente foram realizadas obras de pavimentação na zona ribeirinha, arruamentos e a construção de uma lota/porto comercial, edificado em 1966 (Setúbal: Município participado).



O PORTO DE SETÚBAL

Nas décadas de 60 e 70, grandes indústrias se instalaram em Setúbal, nomeadamente a Autoeuropa, pertencente ao grupo Volkswagen, situada no concelho de Palmela. Esta empresa construiu um terminal Ro-Ro em 1994 e outro Terminal Multiusos em 2002 (Setúbal: Município participado).

## O CENTRO HISTÓRICO

A localização de Setúbal, junto ao rio, era expressa por uma planta retangular e por um traçado regular nas suas ruas principais, no sentido Este-Oeste, exceto a rua Antão Girão e da Judiaria, que apresentava um traçado menos regular e curvilíneo.

Perpendicularmente a estas, existiam outras ruas que tinham como principal função o “escoamento do tráfego transversal, tendo início ou destino no Porto/praias. A predominância de uma orientação Este-Oeste permitia que as casas e ruas se abrigassem dos ventos frios de Inverno e do calor excessivo do Verão” (Saraiva, et al., 1990, p. 50).

Não obstante, ostentava uma estrutura urbana que se resume em dois centros assentes em duas zonas importantes - Santa Maria da Graça e São Julião. Entre estas duas, existia o largo da misericórdia que servia para estabelecer a ligação com a alfândega e a passagem às ruas-eixo (Antão Girão e Arronches Junqueiro), que confluíam neste largo

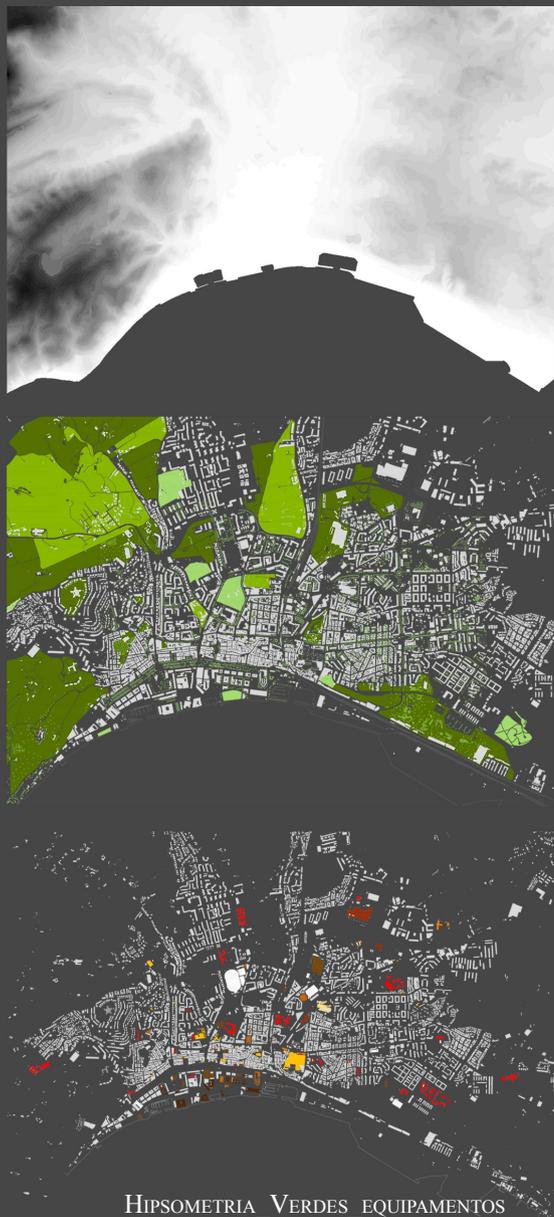
e se prolongavam pela Rua dos Ourives (Paula Borba) e  
Álvaro Castelões (Saraiva, et al., 1990).



MEMÓRIAS DA AV. LUÍSA TODI

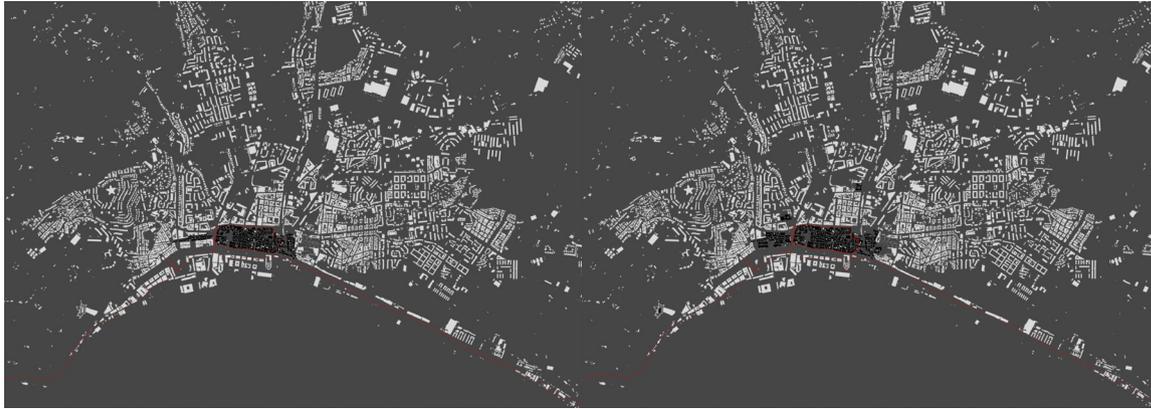


PLANTA DE SETÚBAL COM OS VÁRIOS BAIROS



## EVOLUÇÃO DO CENTRO

A partir de cartografia histórica e atual da cidade de Setúbal constata-se que a mesma tende a desenvolver-se para Nordeste e o que anteriormente foi o seu centro (Núcleo Histórico e avenida Luísa Todi, já no final do séc. XIX) atualmente descentralizou-se. O grande crescimento da cidade neste sentido, resultou essencialmente da construção de vários bairros operários que, ao longo dos anos, possibilitaram a criação de uma morfologia disforme e retalhada, apesar de carecerem de espaços e equipamentos públicos.



Planta de 1357

Planta de 1600

No primeiro assentamento urbano, junto ao mar, verifica-se uma centralidade na borda de água. O facto de a cidade se desenvolver a partir do mar, possibilita a existência de uma primeira rua, que define o limite entre os assentamentos urbanos e o rio e às quais as restantes ruas nela confluem. Simultaneamente, emerge uma nova hierarquia de espaços, com o surgimento dos primeiros edifícios, ruas e praças.

Todavia, em meados de 1600, a cidade começa a desenvolver-se principalmente no sentido Este/Oeste, superando os limites da muralha que, no decorrer dos anos, funcionava como forma de proteção da cidade. A construção da muralha origina uma barreira da cidade com linha de costa, fazendo com que esta última perca importância e a cidade adquira um novo Cardus e Decomanus. Assim, é possível verificar uma nova centralidade, pontuada com edificações notáveis.



Planta de 1700

Planta de 1800

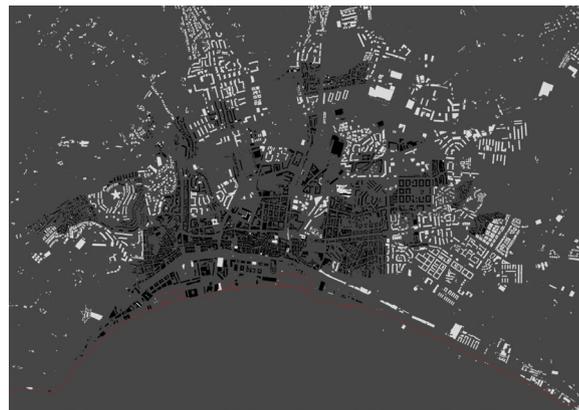
A muralha adquire uma nova configuração, expandindo-se. Rompem-se novos arruamentos e a cidade volta a ganhar expressão junto do rio. Continua a expandir-se para Norte e para Este/Oeste e a sua frente de rio continua a afirmar-se de forma significativa.

Com o aparecimento da Avenida Luísa Todi, a cidade apresenta uma marginal assumida, expandindo-se em direção ao mar com o aterro e o núcleo urbano é agora um núcleo histórico. A cidade tem um novo centro, a avenida Luísa Todi. Começam a emergir novos edifícios fora do núcleo urbanizado e a cidade tende a crescer para Norte e para Este/Oeste – os novos bairros operários. O centro de Setúbal, a Avenida Luísa Todi, tende a afastar-se para Nordeste, com o surgimento destes bairros. Simultaneamente, a Avenida 5 de Outubro e a Avenida Jaime Cortesão afirmam-se como

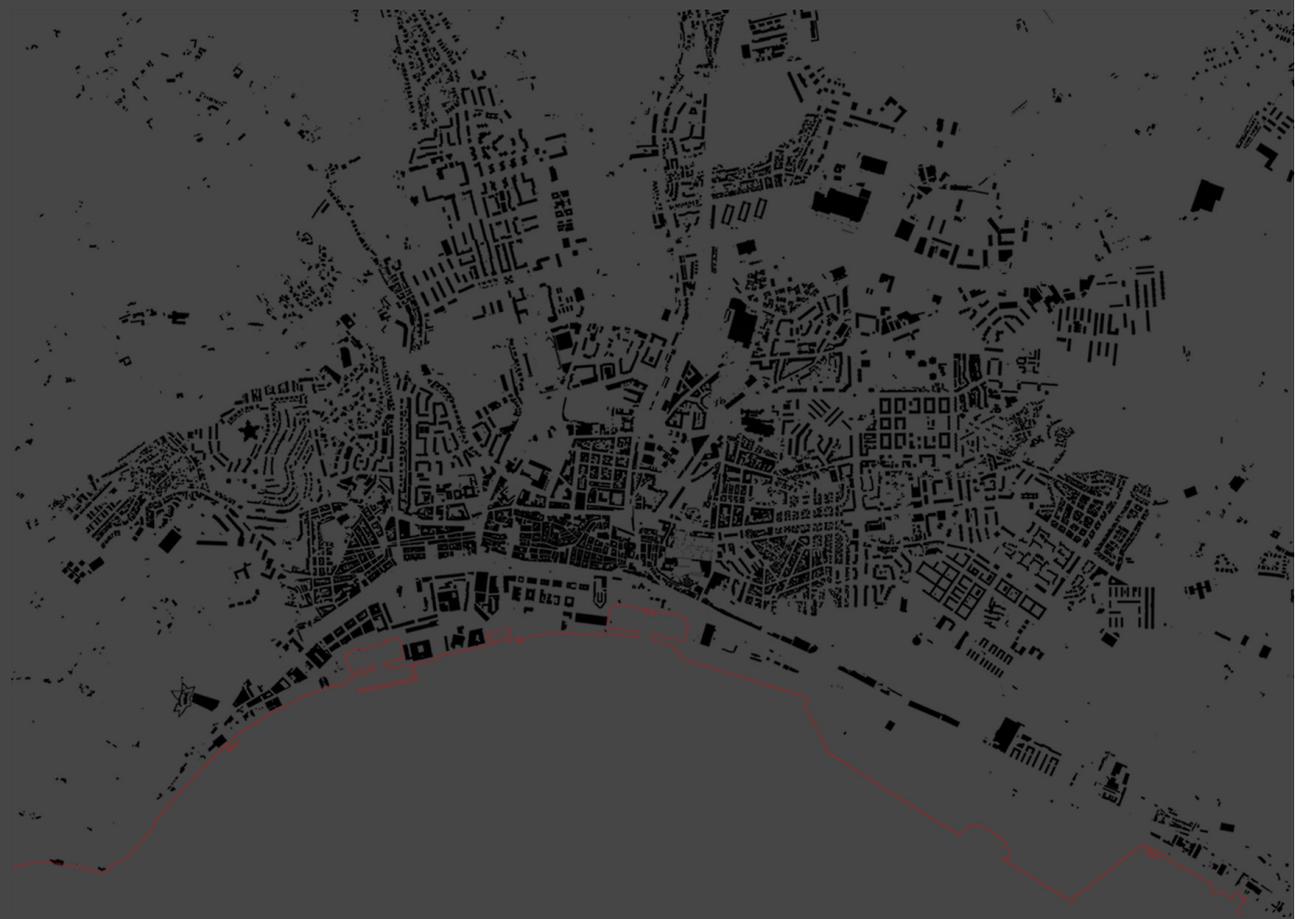
novos núcleos locais, não menosprezando a Avenida Luísa Todi.

A atual Avenida 5 de Outubro, assim como parte da Avenida Luísa Todi, revelam-se, desde os primeiros assentamentos urbanos, como centros locais. À medida que analisamos os mapas expostos percebe-se que, numa primeira fase, a Avenida Luísa Todi é considerada de uma extrema importância, devido à sua proximidade com o mar. Contudo, essa mesma importância tem vindo a diminuir, como se pode observar nos mapas atuais. Com a grande expansão urbana de Setúbal, as Avenidas Jaime Cortesão e 5 de Outubro tornam-se grandes núcleos locais e, posteriormente, eixos estruturantes desta cidade.

No que toca aos principais serviços/equipamentos, verifica-se que, no lado Este, existe uma maior capacidade de resposta, a nível de escolas que acompanharam o crescimento dos bairros sociais e operários. No entanto, os principais equipamentos públicos situam-se, na sua grande maioria, no lado mais a Oeste da cidade.



Planta de 1968



Planta atual

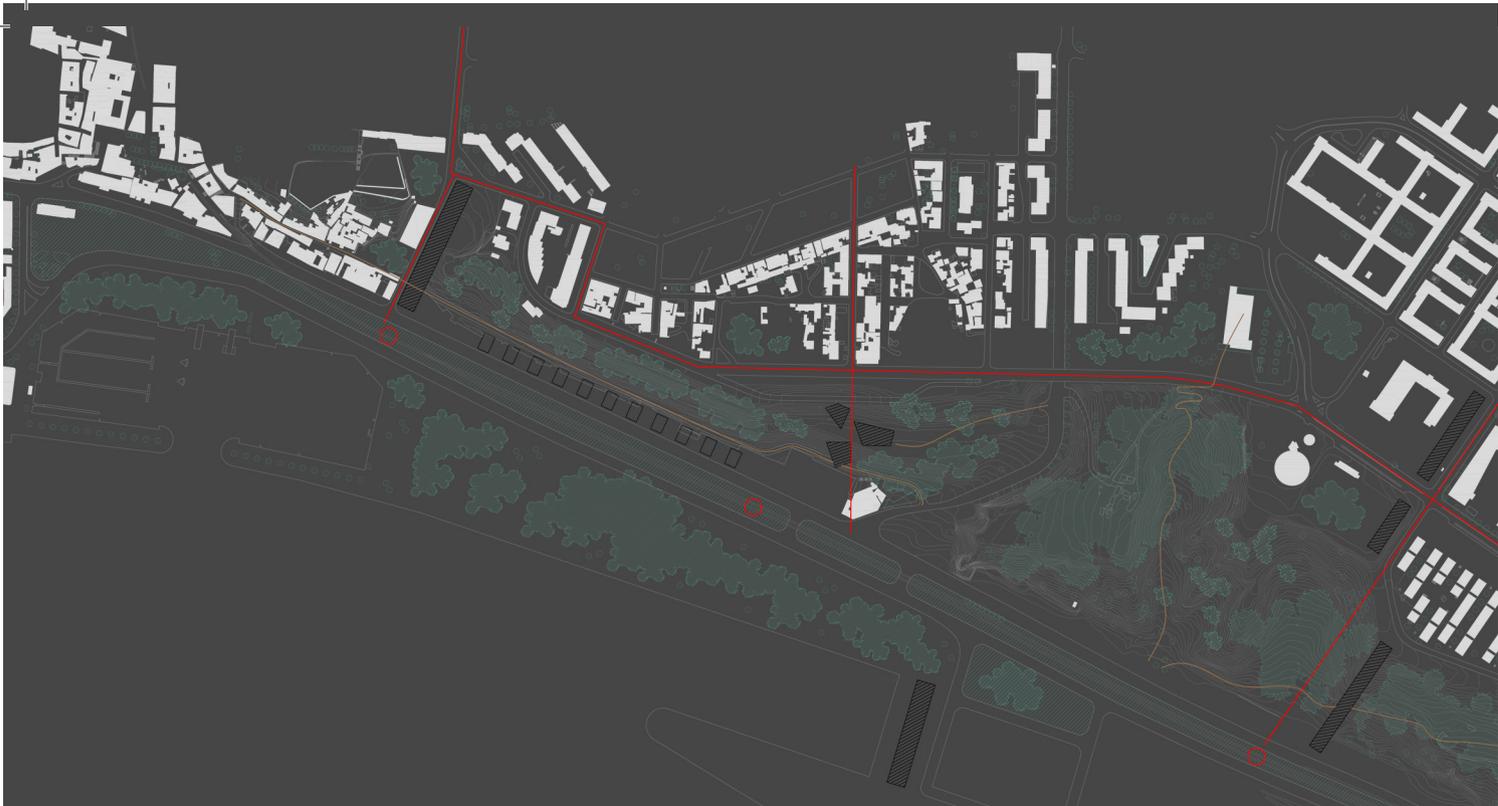




## VERTENTE PRÁTICA ESTRATÉGIA DE GRUPO

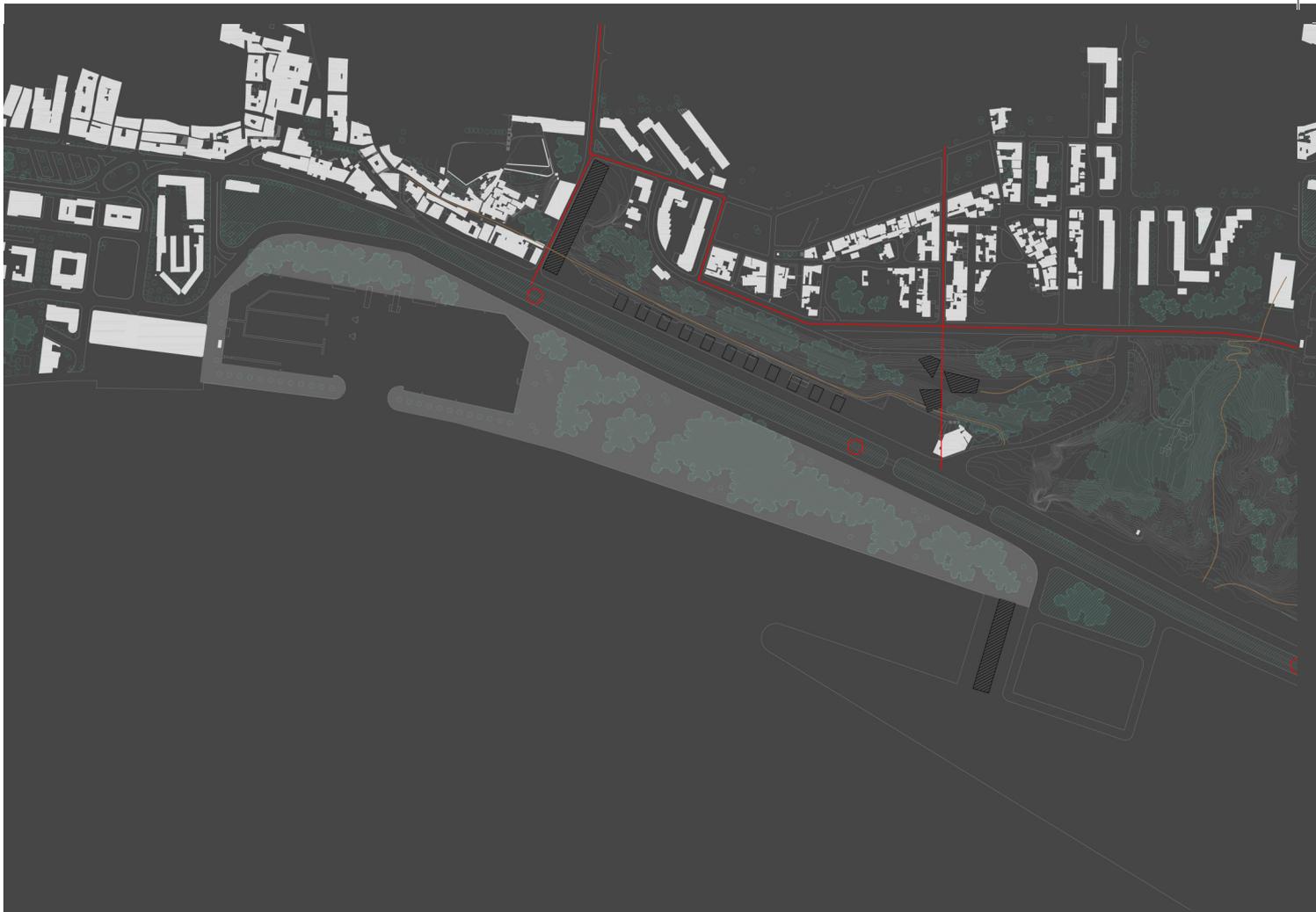


A presente estratégia tem como pressuposto o enunciado de Projeto Final de Arquitetura, onde a linha de comboio existente é substituída por um comboio de superfície (Tram-train) que, por si só, ajuda a facilitar o acesso pedonal entre a borda da água e os bairros operários e sociais. O local de intervenção configura-se como uma zona topográfica bastante acidentada, na qual foram introduzidas novas ligações com o objetivo de possibilitar uma maior acessibilidade entre as duas cotas. Não obstante, ligou-se a Avenida Belo Horizonte à Estrada da Graça; a Rua Barrocas à Rua Camilo Castelo Branco; assim como se construiu uma nova rotunda para facilitar a mudança de direção automóvel no cruzamento da Avenida D. Manuel I com a Estrada da Graça.

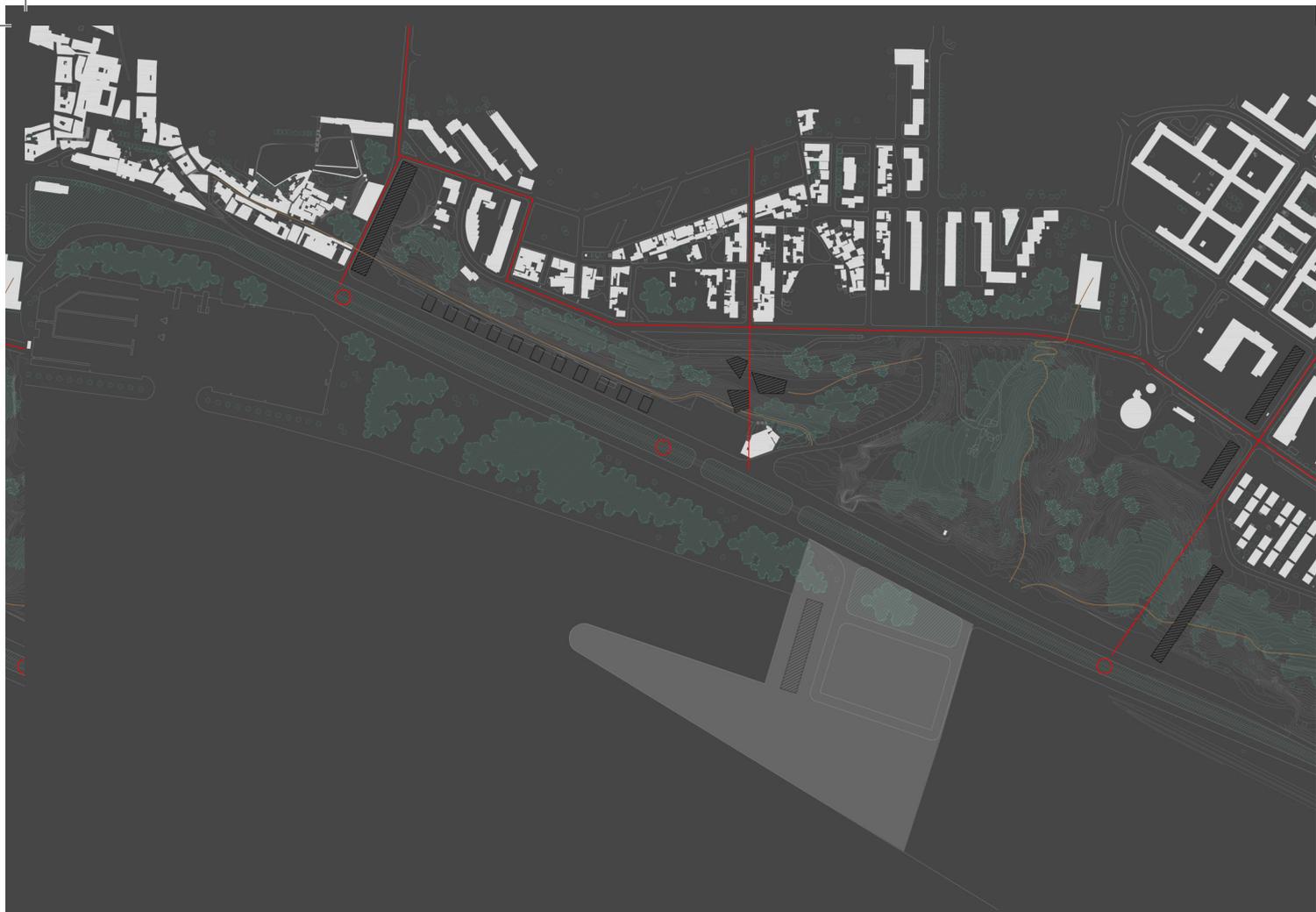
The image is a detailed architectural site plan of the Serra da Arrábida area. It features a central green corridor along the riverbank, highlighted with a red line. The plan shows various building footprints, parking areas, and landscaped zones. Topographic contours are visible, indicating the terrain's elevation. The corridor is flanked by buildings on one side and a river on the other, with various green spaces and paths integrated into the design.

Um dos pontos cruciais desta proposta é “libertar” a Serra da Arrábida, estendendo-a através da Av. Luísa Todi. O facto de a Avenida Luísa Todi oferecer condições ideais à permanência de pessoas, com a existência de espaços de lazer e estar e de ser um espaço com bastante movimento, foi oportuno estender essa realidade para o lado Nascente, criando assim um corredor verde de espaços públicos qualificados que, por sua vez, permitiam estender a cidade ao longo da margem do rio, fortalecendo essa relação. Ao longo deste corredor, são também reabilitados alguns espaços que se encontravam desfavoráveis ao uso humano (caóticos e/ou abandonados), sendo encarados como grandes oportunidades de intervenção.

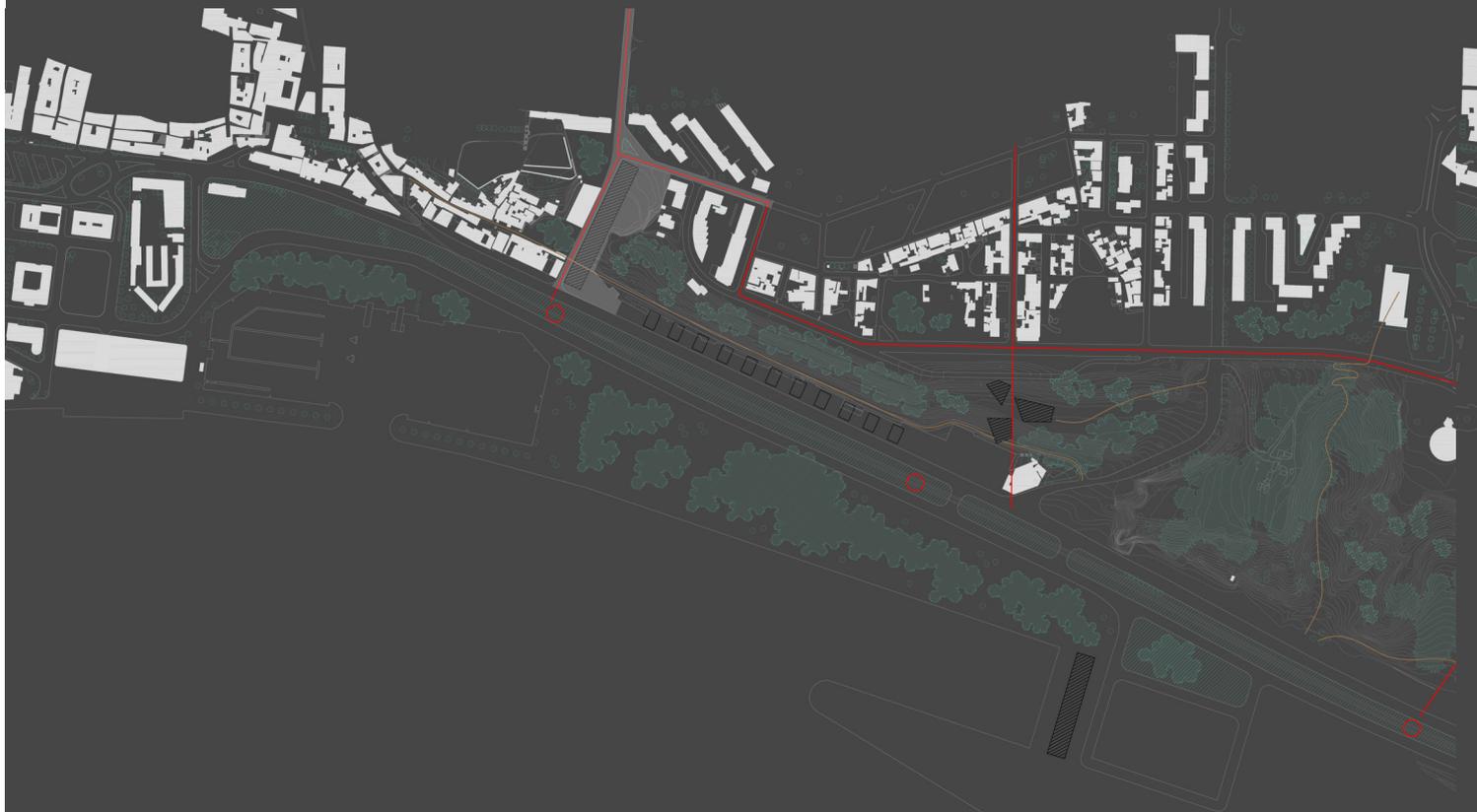
Assim sendo, propõe-se a criação de novos espaços, semelhantes a outros existentes, mantendo a possibilidade de se conceberem novos equipamentos.



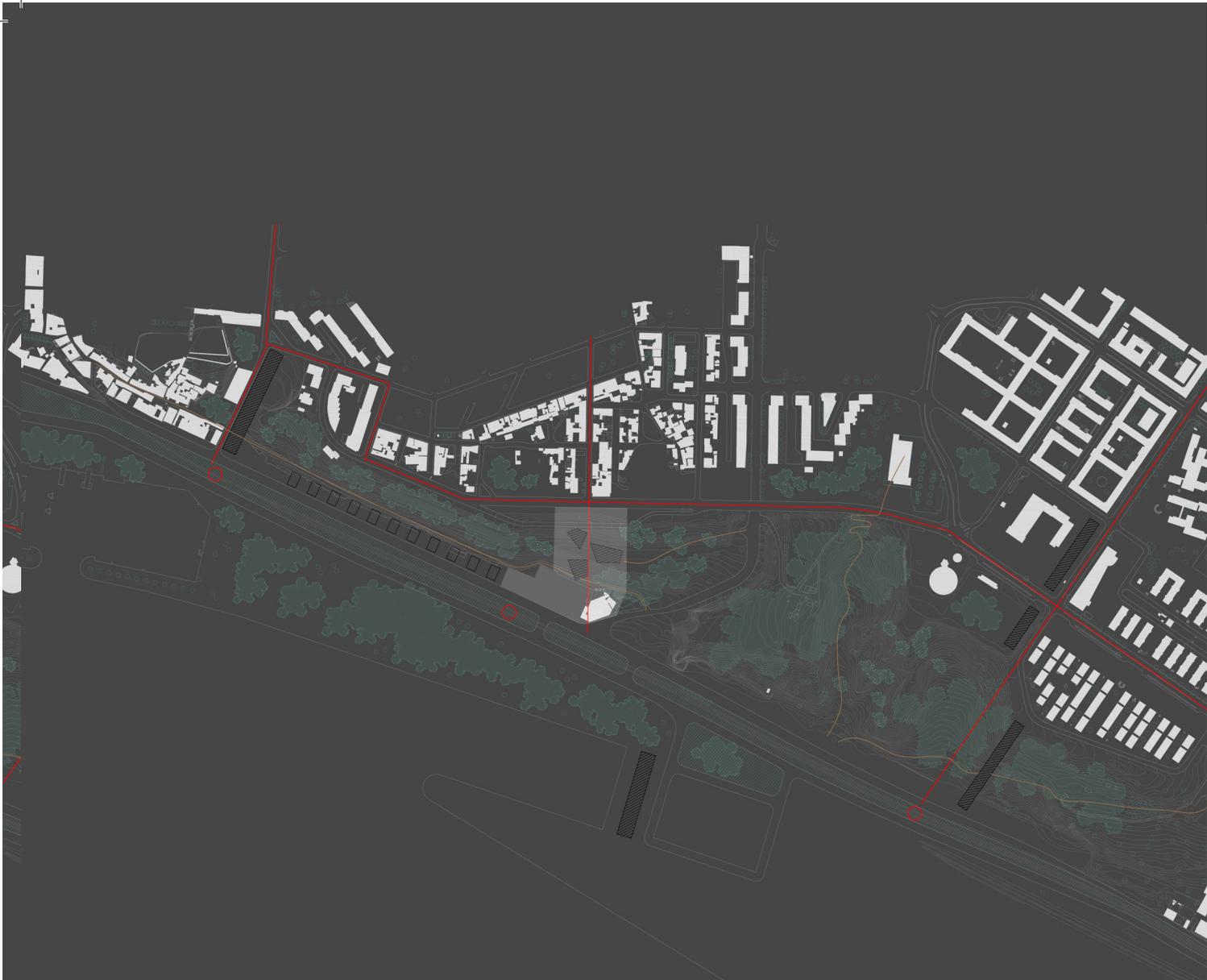
Pretende-se atribuir a este espaço novas áreas de lazer e estar, espaços verdes e uma nova forma de habitar, existindo a hipótese de se implementarem, no futuro, novos equipamentos. Esta intenção surge de forma natural, uma vez que o principal propósito do exercício é fortalecer a relação da cidade com a beira da água, permitindo às pessoas o uso da borda d'água.



No seguimento do desenho desta estratégia, pretende-se reconfigurar o atual funcionamento e posição dos Ferry's conduzindo ao surgimento de um novo cais com um melhor estacionamento e à libertação da atual doca do comércio para os barcos de recreio, sendo que os catamarans mantêm a sua posição atual.



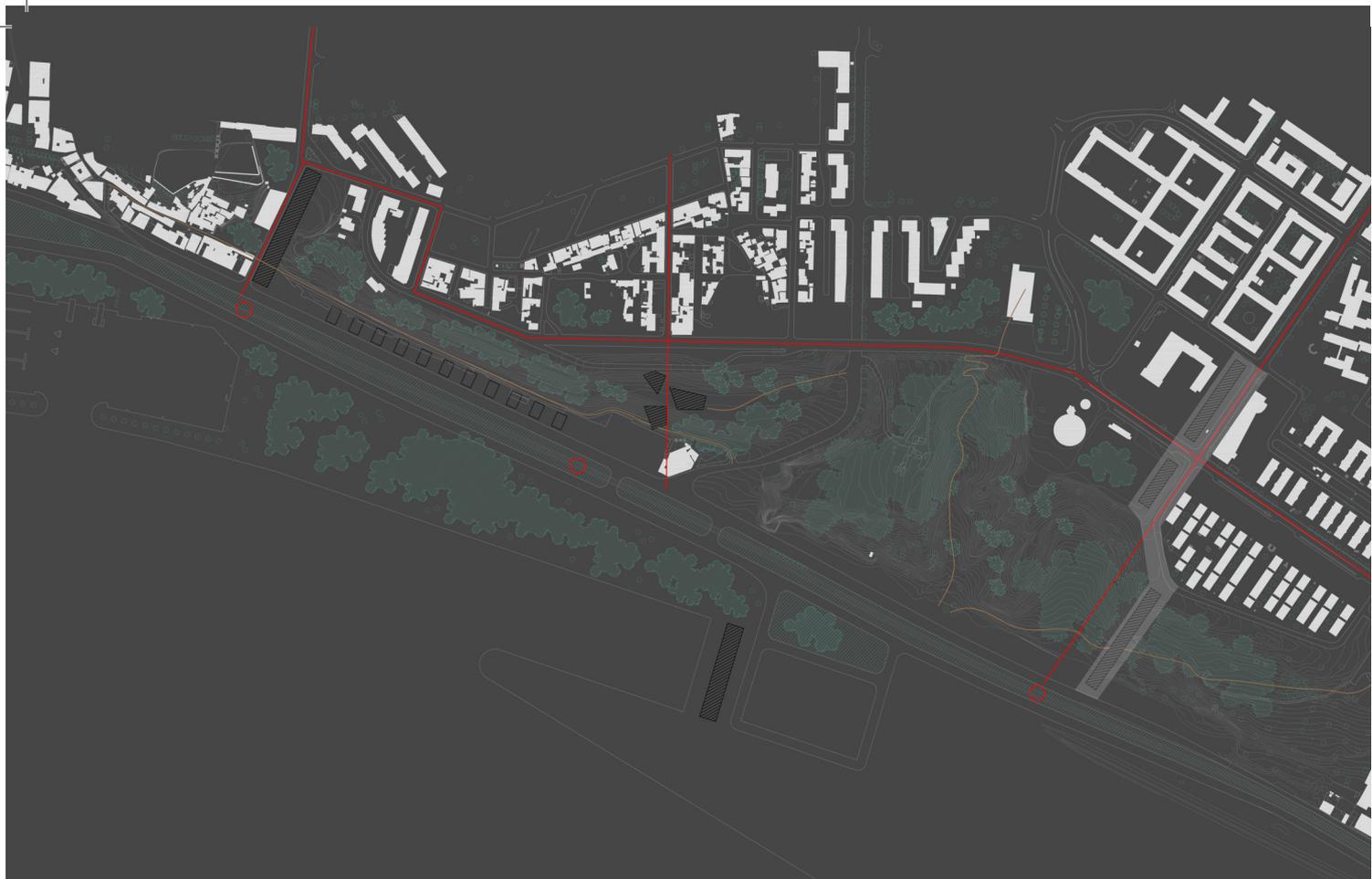
Identificaram-se vários locais de possível intervenção que tinham como principal meta reforçar a relação da cidade com o rio como, por exemplo, a antiga zona de fábricas, junto ao Jardim Camilo Castelo Branco. Objetiva-se, também, reabilitar o lugar e rematar a nova frente, preservando assim parte da sua memória. Para este local de intervenção propõe-se um equipamento de cariz público que seja capaz de servir para lá dos limites da cidade de Setúbal.



O principal objetivo, neste caso, é proporcionar um rápido e fácil acesso entre as duas cotas da escarpa de Santos Nicolau. Este percurso é acompanhado de um edifício de cariz público que, ao mesmo tempo, remata a nova frente da Estrada da Graça, a Nascente.

pic  
s  
as-Train  
ostos





Este local remata a zona de intervenção e a estratégia. Pretende-se reforçar a relação com o rio permitindo um acesso fácil e rápido, apesar da diferença de cotas ser bastante acentuada. Neste lugar, propõem-se a construção de uma residência de estudantes e de um edifício com um elevador exterior, ambos de cariz público. A escolha do local tem como propósito contribuir para o “desaparecimento” da segregação social dos bairros sociais mais próximos, “puxando” assim a cidade para Nascente, caracterizada por construções praticamente habitacionais e pela necessidade de implementar novos equipamentos públicos.



**VERTENTE PRÁTICA**  
**INDIVIDUAL**

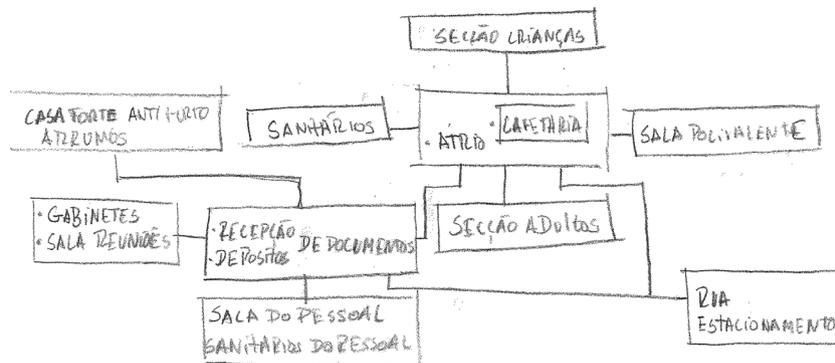


O grande desenvolvimento da cidade de Setúbal deveu-se, principalmente, pela rápida necessidade de alojamento dos operários das grandes indústrias como, por exemplo, a de conservas de peixe. Estas indústrias não só empregavam muitos operários como, também, tinham que garantir casas e alguns benefícios sociais, fazendo com que a cidade crescesse exponencialmente para Este, local onde se encontravam as indústrias. Este rápido crescimento e o facto da população ser essencialmente operária (classe baixa), fez com que esta zona carecesse de equipamentos públicos culturais.



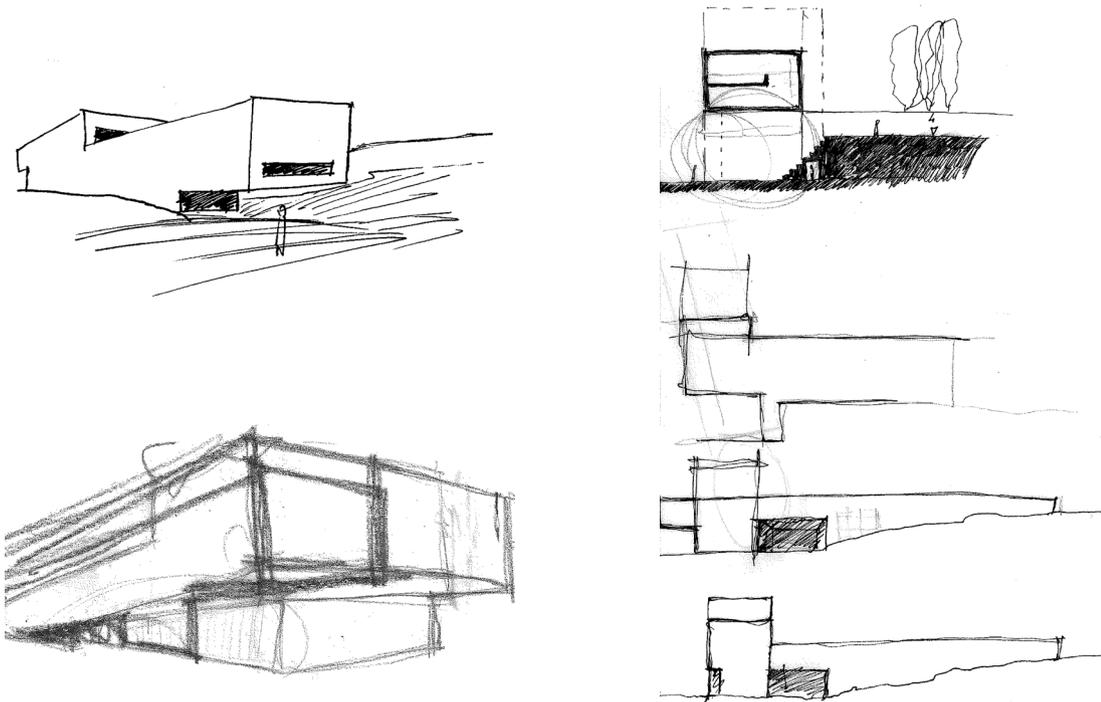
Analisando o mapeamento de alguns destes equipamentos, existentes em Setúbal, como escolas, politécnicos e pequenas bibliotecas, tornou-se oportuna a proposta e edificação de uma biblioteca municipal, Biblioteca Municipal Manuel Du Bocage, que marcasse o início da estratégia de grupo para uma “nova” cidade de Setúbal. A ideia da equidistância deste equipamento com as escolas já existentes levou a que a escolha recaísse no local de intervenção – Rua Camilo Castelo Branco.

Quanto aos outros pequenos espaços bibliotecários existentes, pretende-se que estes mantenham alguns serviços e que, sobretudo, auxiliem e cooperem com a Biblioteca Municipal Manuel Du Bocage desempenhando funções de catalogação de livros e cooperando nas políticas de ordenação na Biblioteca Municipal.



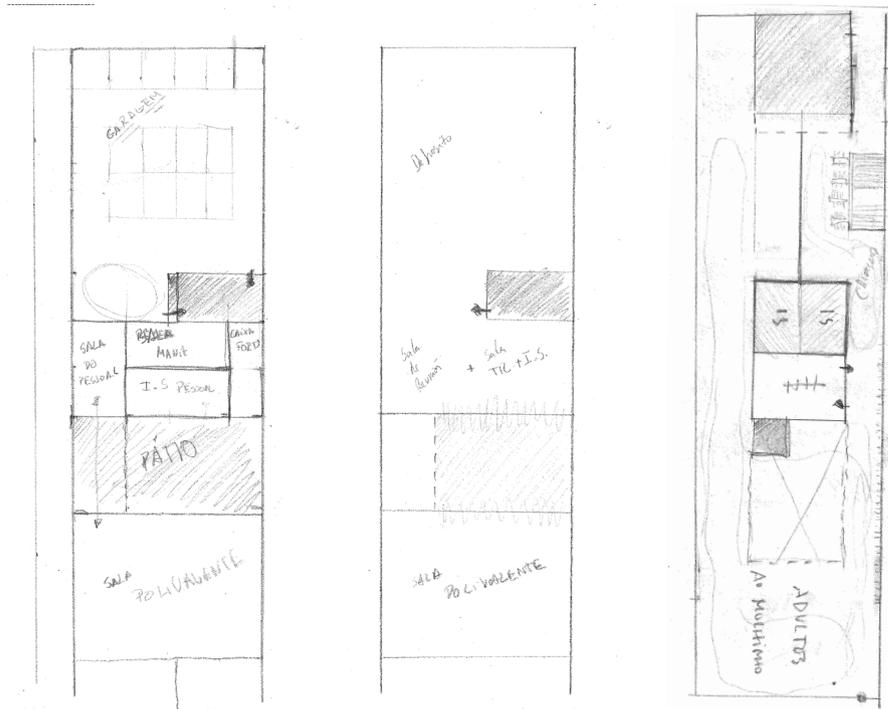
Este novo equipamento cultural foi pensado para responder a uma população mais restrita (estudantes, intelectuais e amantes da leitura). No entanto, ao conciliar os estudos do programa de uma biblioteca tornou-se necessária a inserção de um outro, que em muito se assemelha a um centro de congressos, para complementar as necessidades culturais de toda a população da cidade de Setúbal, permitindo, assim, a realização de espetáculos, seminários, congressos, banquetes e exposições.

O edifício situa-se na Rua Camilo Castelo Branco sendo que uma entrada, do



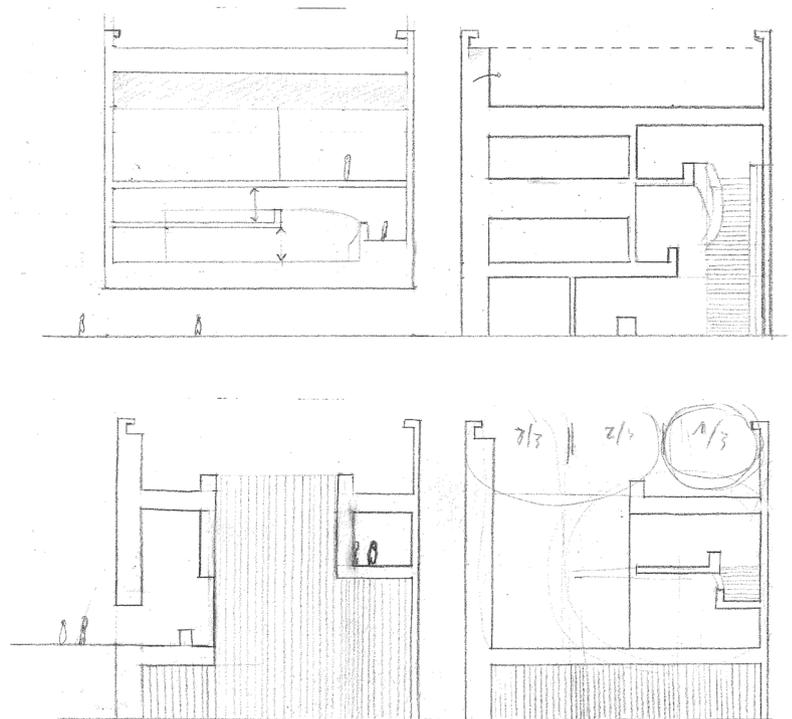
público para a biblioteca, se efetua na nova extensão da Avenida Luísa Todi (antiga Estrada da Graça) e a outra, para o Centro de Congressos, pela Rua Estevão Liz Velho. Estas entradas, são efetuadas por baixo de consolas permitindo, assim, um espaço de abrigo, antes da presença no edifício.

O edifício caracteriza-se por dois volumes paralelepípedicos que rematam as duas ruas, a Liz Velho e a Castelo Branco, oferecendo-lhes uma nova, diferente e integrada fachada. No exterior, apresenta um carácter pesado e arrojado do grande bloco de



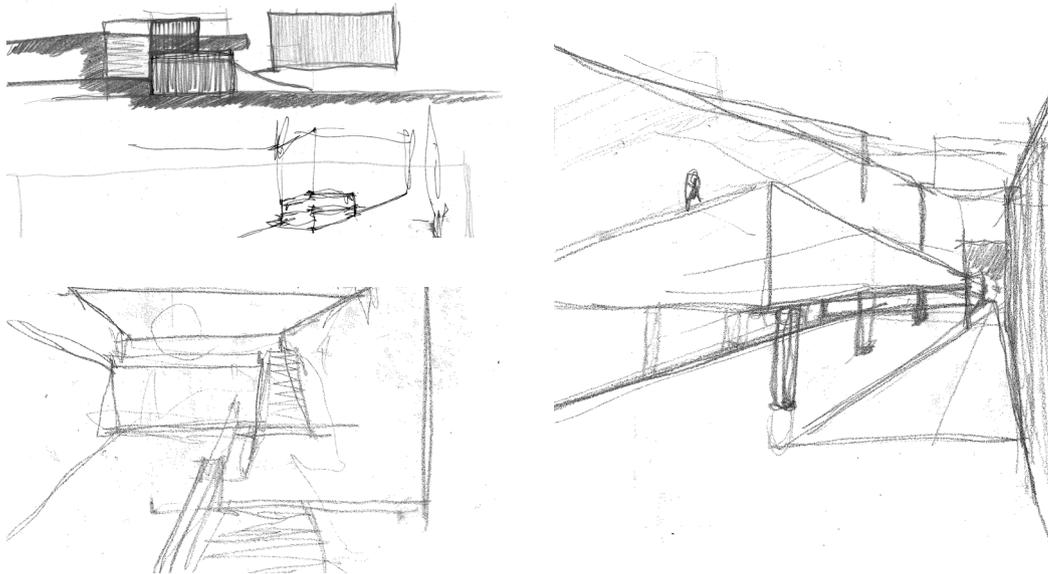
betão. No extremo, numa enorme consola combinada com um embasamento rebocado, pretende-se exprimir o impacto da robustez do bloco de betão, assente numas paredes, que, à partida, não aguentariam; simultaneamente, note-se uma fachada de entrada apenas feita de vidro totalmente permeável (especial para exteriores) e o tradicional caixilho de alumínio.

No interior a biblioteca é caracterizada pelo seu espaço amplo, grandes isovistas das diferentes zonas para as restantes (zona dos adultos, crianças e jovens), a grande



caixa bibliotecária e zona de leitura, apontamentos que relembram o exterior e a integram na zona de intervenção, as vigas de aço corten sobre o vão zenital que servem para um melhor controlo da luz (apropriada a uma zona de biblioteca) e, fundamentalmente, a escadaria que se localiza num dos lados, ligando todos os pisos da biblioteca.

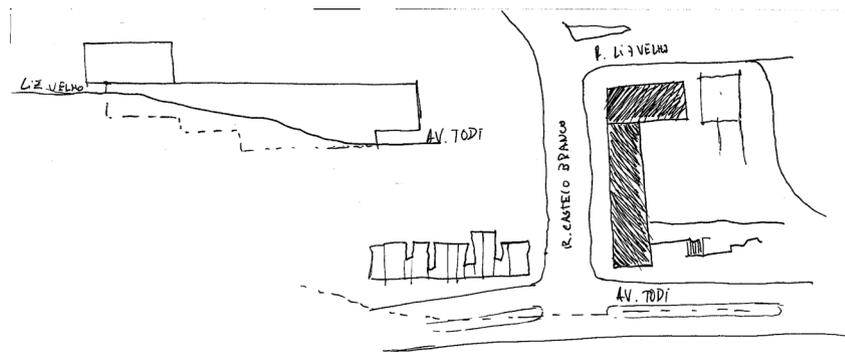
Em corte, o edifício transmite a ideia de anfiteatro, onde o palco representa a zona dos adultos (uma grande caixa em consola) e as bancadas as restantes zonas de estudo, onde existe uma harmonia entre os pés-direitos que derivam das diferentes galerias.



O embasamento interior, em betão, é o inverso do exterior, para oferecer segurança ao utilizador do espaço e assegurar, de alguma maneira, a manutenção do material, evitando assim a sua degradação, quer pela utilização (sujidade, por exemplo) quer por atos de vandalismo.

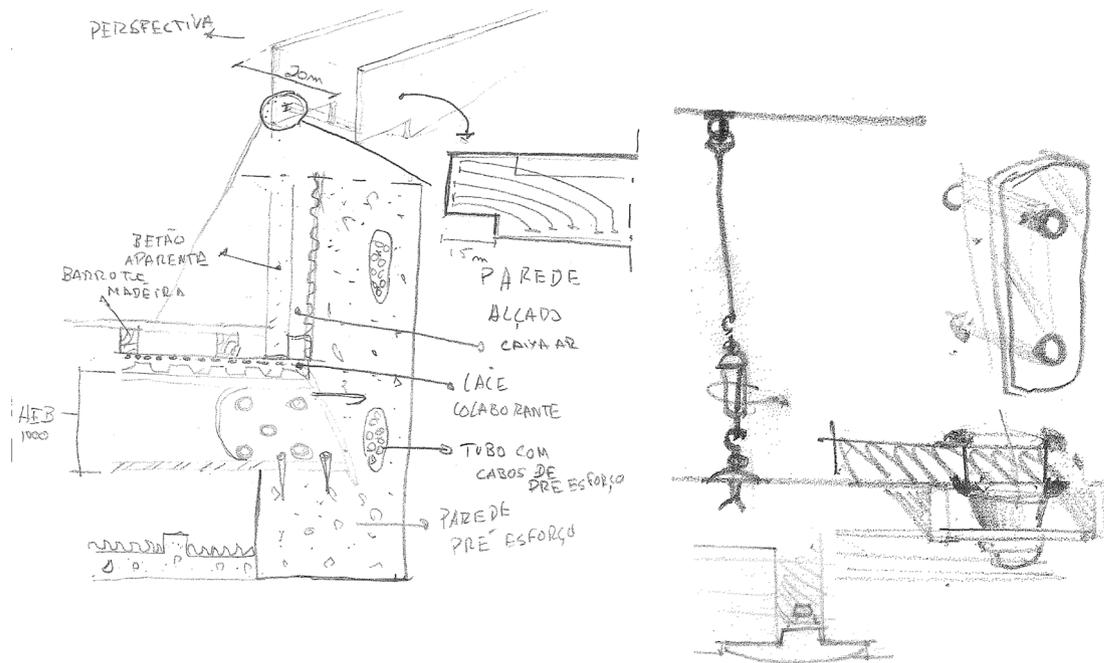
As fachadas Nascente e Poente são cegas, ao contrário das fachadas Norte e Sul, que têm grandes vãos horizontais em banda, agregados a um sistema de “brises du soleil” em aço corten, no caso do edifício de congressos.

O edifício de “congressos”, por se situar, literalmente, em cima de uma das



pontas da biblioteca, idealizou-se como um edifício “leve” que oferecesse segurança e uma continuidade de projeto, pelo que muitos dos materiais são utilizados da mesma forma, proporcionando uma harmonia com o sítio e com a própria biblioteca. Este edifício inclui um auditório (com 298 lugares max.), totalmente preto, com exceção da parede que encerra o palco que é de betão aparente e um amplo espaço multifuncional, num segundo piso, que ocupa toda a sua forma, que poderá servir até quatro espaços menores, a utilizar em simultâneo, consoante as necessidades dos eventos.

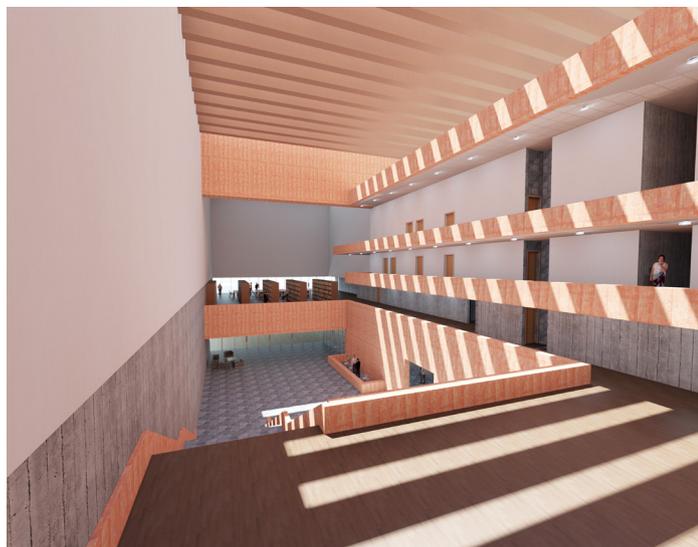
Nos dois edifícios são perceptíveis dois grandes átrios, que acolhem o público em geral e que, de uma forma poética, permitem perceber os vários espaços de cada edifício sem os revelar. São ligados interiormente apenas pela garagem privada e de convite que também contém os dois cais de cargas e descargas, respetivos. Os dois edifícios, pelo exterior, configuram um pequeno jardim privado, acessível pelos dois



equipamentos que, de alguma forma, remata o miradouro e jardim público Camilo Castelo Branco.

A estrutura destes dois edifícios é caracterizada por duas grandes paredes estruturais (pré-esforçadas), exteriores, de betão, que suportam, principalmente, uma estrutura de vigas metálicas que sustentam as lajes colaborantes e, pontualmente, umas lajes pré-esforçadas. Toda a infraestrutura dos edifícios é colocada na cobertura de cada um e é canalizada para os respetivos espaços, através de vários saguões.

Vista superior do átrio de entrada



Os dois edifícios têm uma coluna de espaços que estrutura as várias necessidades dos vários pisos, contendo, no seu interior, os vários elevadores; as escadas corta fogo e de fuga; pequenas salas de estudo e de leitura; outras pequenas salas; arrumos e as instalações sanitárias. É, também, através desta coluna que se consegue percorrer os diferentes espaços entre os vários pisos.

Todos os espaços bibliotecários e de exposições têm um pavimento em madeira escura que, de alguma maneira, retrata não só um clima confortável, quente, de



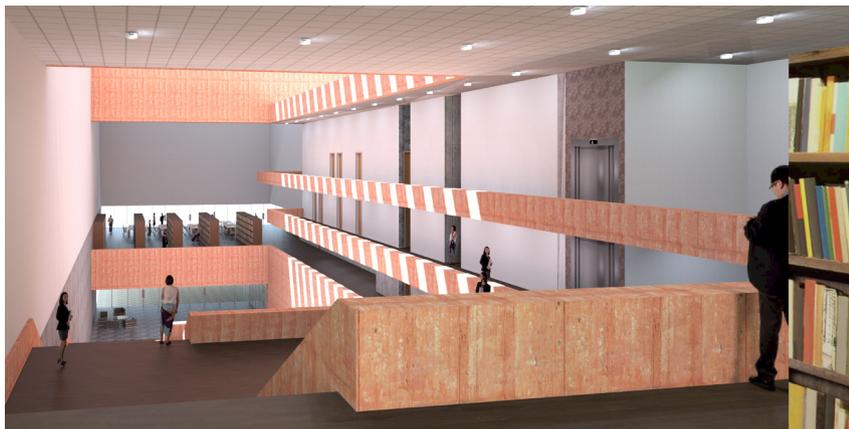
Vista do átrio de entrada da Biblioteca



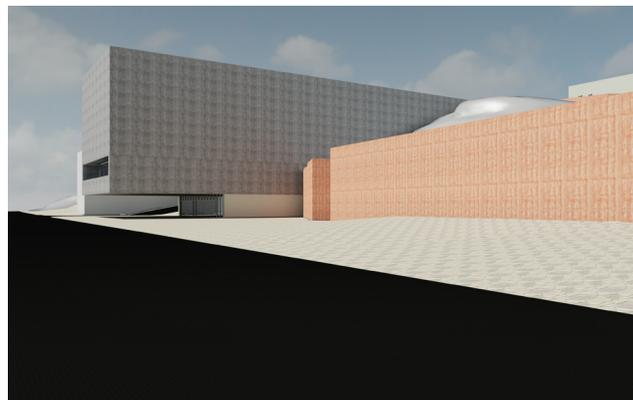
Vista do bar para o exterior

permanência, como por outro lado tem uma razão funcional; a de não “magoar” tanto os livros se, eventualmente, estes caírem ao chão.

A sala polivalente da biblioteca tem dois pés-direitos, de modo a criar dois diferentes espaços; um de circulação e outro de performance. O de circulação está estrategicamente perto das portas das salas assim como da zona de fuga e saída da polivalente. O espaço de performance tem um pé-direito mais alto e vista para a sala da regi por uma janela em banda.

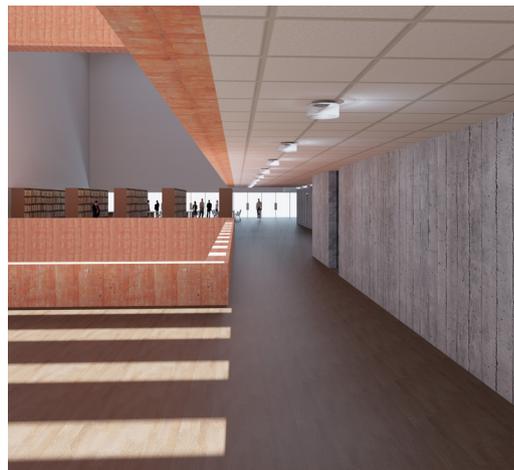
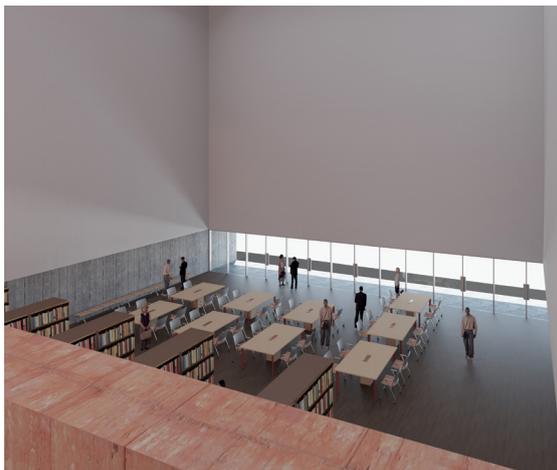


Vista sobre a Biblioteca no espaço de leitura das crianças



Vista do sudeste do edifício e do muro que trás a memória das antigas fábricas

As instalações sanitárias são revestidas nas paredes por azulejos de 15 cm e tal como nas duas entradas dos dois edifícios, o pavimento é acabado com uma mármore azulada fazendo lembrar o mar. Nos balcões assim como nas guardas das mezzanines e



Vista vistas para a sala de leitura dos adultos

das escadas, foi utilizado um betão pigmentado, a cor gasta de um tijolo velho, fazendo lembrar o muro do exterior (a memória de umas fábricas deitadas abaixo).

Todos os restantes espaços, à exceção do embasamento, em betão, interior já referido, são rebocados a branco para os espaços ganharem uma noção de continuidade, ou seja, para aparentar serem paredes únicas, sem, por exemplo, as linhas das diferentes cofragens.

Todos os tetos são tetos falsos, onde passam a grande maioria das infraestruturas, sendo que a infraestrutura de renovação de ares, é feita essencialmente pelo teto falso da entrada e pelo teto falso da zona das crianças (último piso da biblioteca).

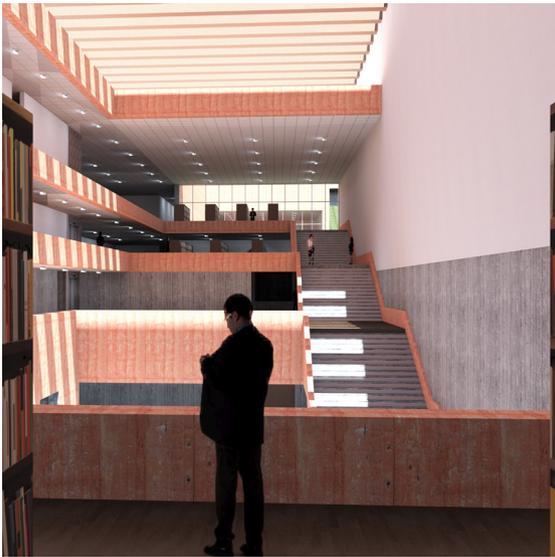


Vista das escadas para a sala polivalente/exposições e o espaço respetivo

Relativamente ao edifício do auditório e da zona de exposições, esta renovação é feita através das infraestruturas indicadas nos tetos falsos respetivos.

Todos os tetos falsos são brancos, acústicos em lã de madeira mineralizada, tipo celenit, à exceção dos tetos falsos do edifício que tem o auditório e a grande sala polivalente, que são pretos.

Relativamente às escadas são todas unitárias no seu acabamento; são todas em betão aparente sendo que o cobertor varia mediante o piso de onde a escada parte; variando entre a madeira dos pisos de leitura e a mármore do piso da entrada. Todas as entradas são feitas a partir de portas de vidro com caixilharia e puxadores em alumínio de modo a existir uma grande permeabilidade entre o interior dos edifícios e o exterior.



Vista para toda a biblioteca da sala de leitura dos adultos



Vista da sala de leitura dos adultos



Vista para a sala de leitura dos adultos da mezzanine das crianças



Vista do jardim privado para os gabinetes de trabalho da biblioteca



Vista para o palco do auditório



Vista de cima para baixo do auditório



Vista do átrio do auditório e do jardim privado dos dois edifícios



Vista do átrio do auditório e da entrada do edifício



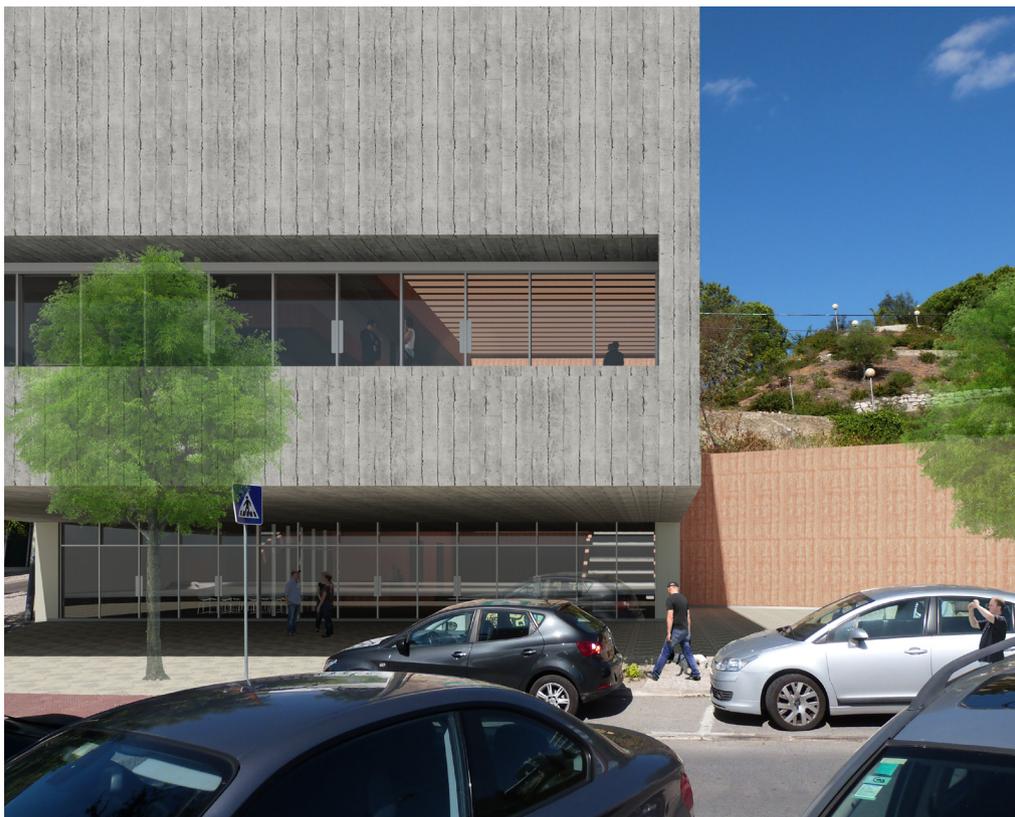
**VERTENTE PRÁTICA**  
**FOTOMONTAGENS**



Vista da antiga estrada da Graça



Vista da fachada poente da e entrada da Biblioteca Manuel Bocage



Vista da fachada Sul na nova extensão da Av. Luísa Todi



Vista do novo passeio da Av. Luísa Todi



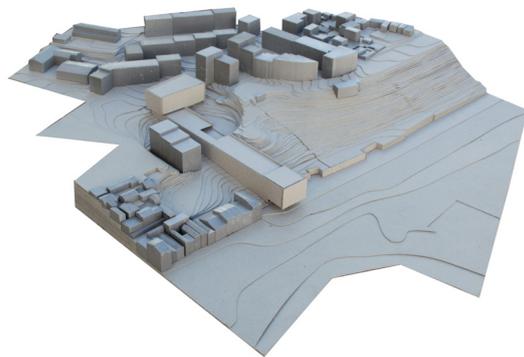
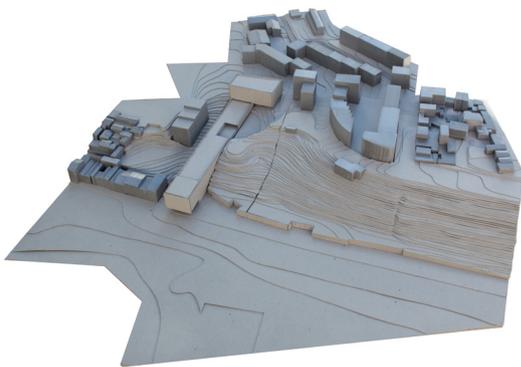
Vista da fachada Norte na Rua Liz Velho

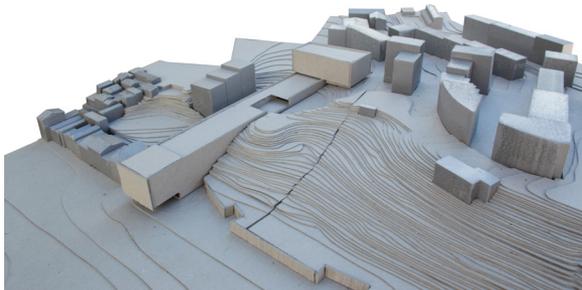


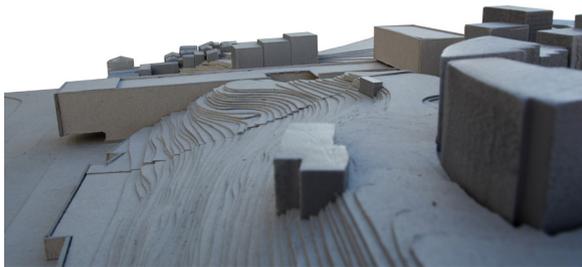
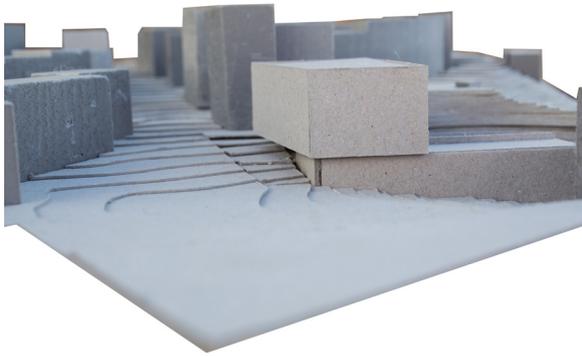
Vista Norte do Miradouro do Jardim de Camilo Castelo Branco

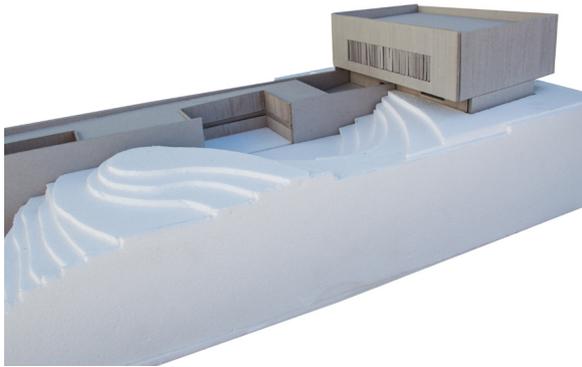


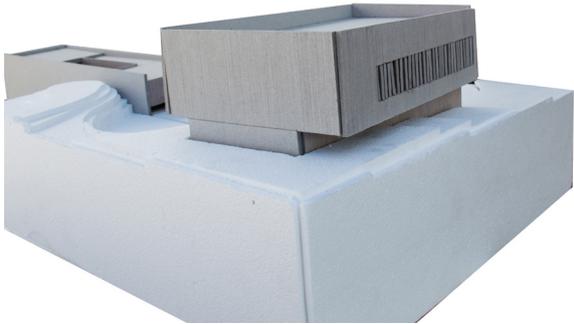
VERTENTE PRÁTICA  
MAQUETAS















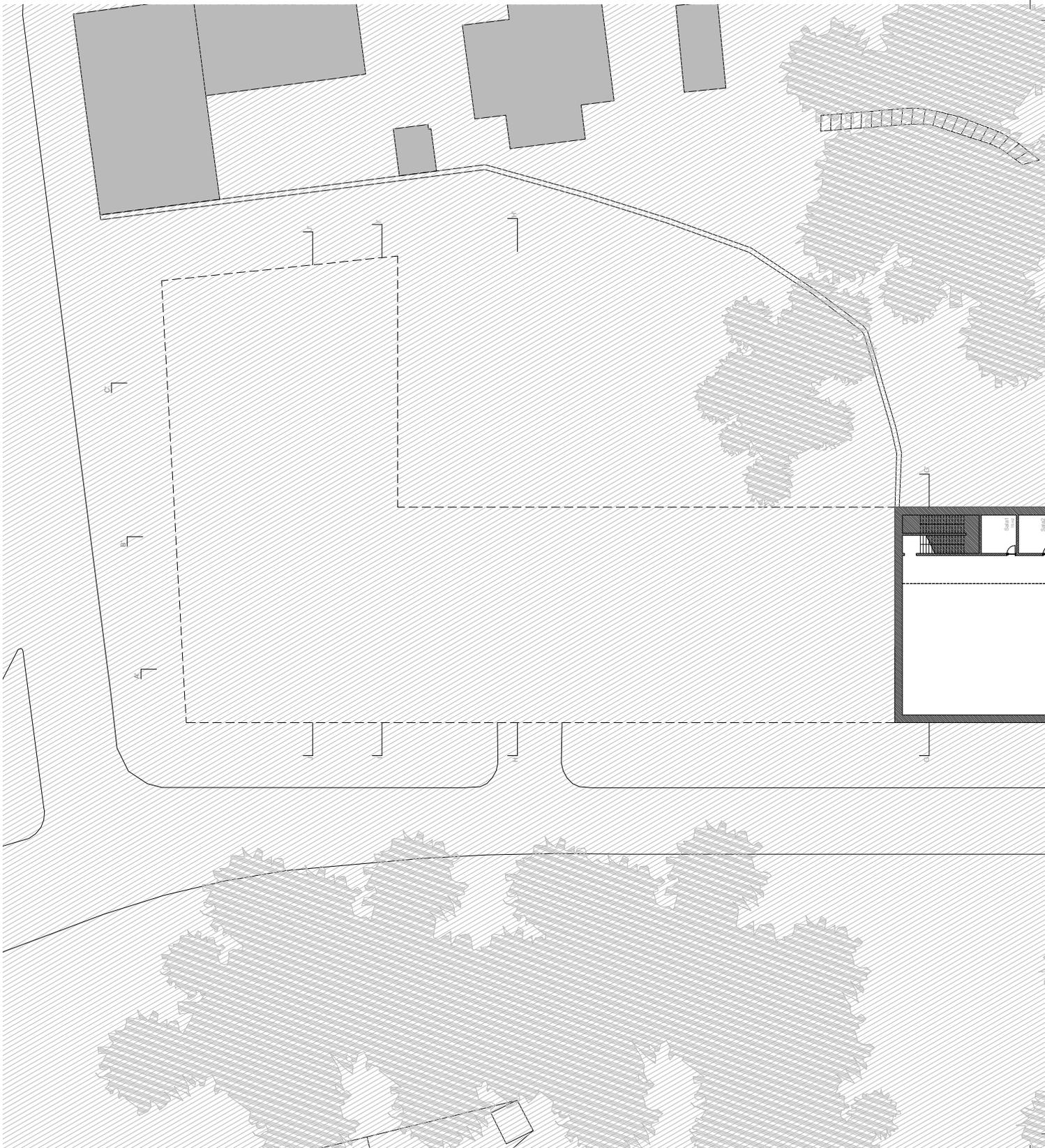
**VERTENTE PRÁTICA**  
**DESENHOS**

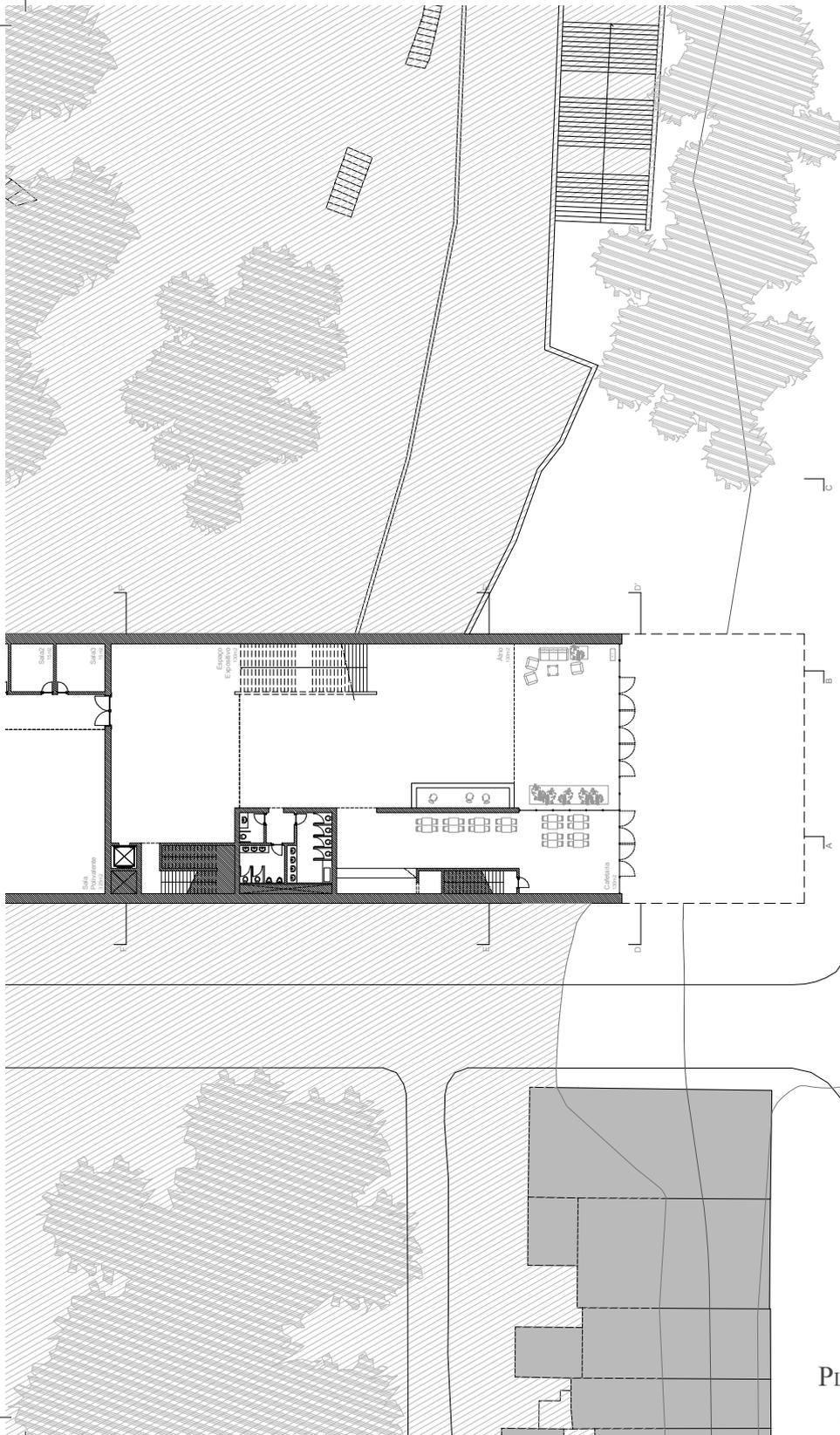


# PLANTA DE IMPLANTAÇÃO



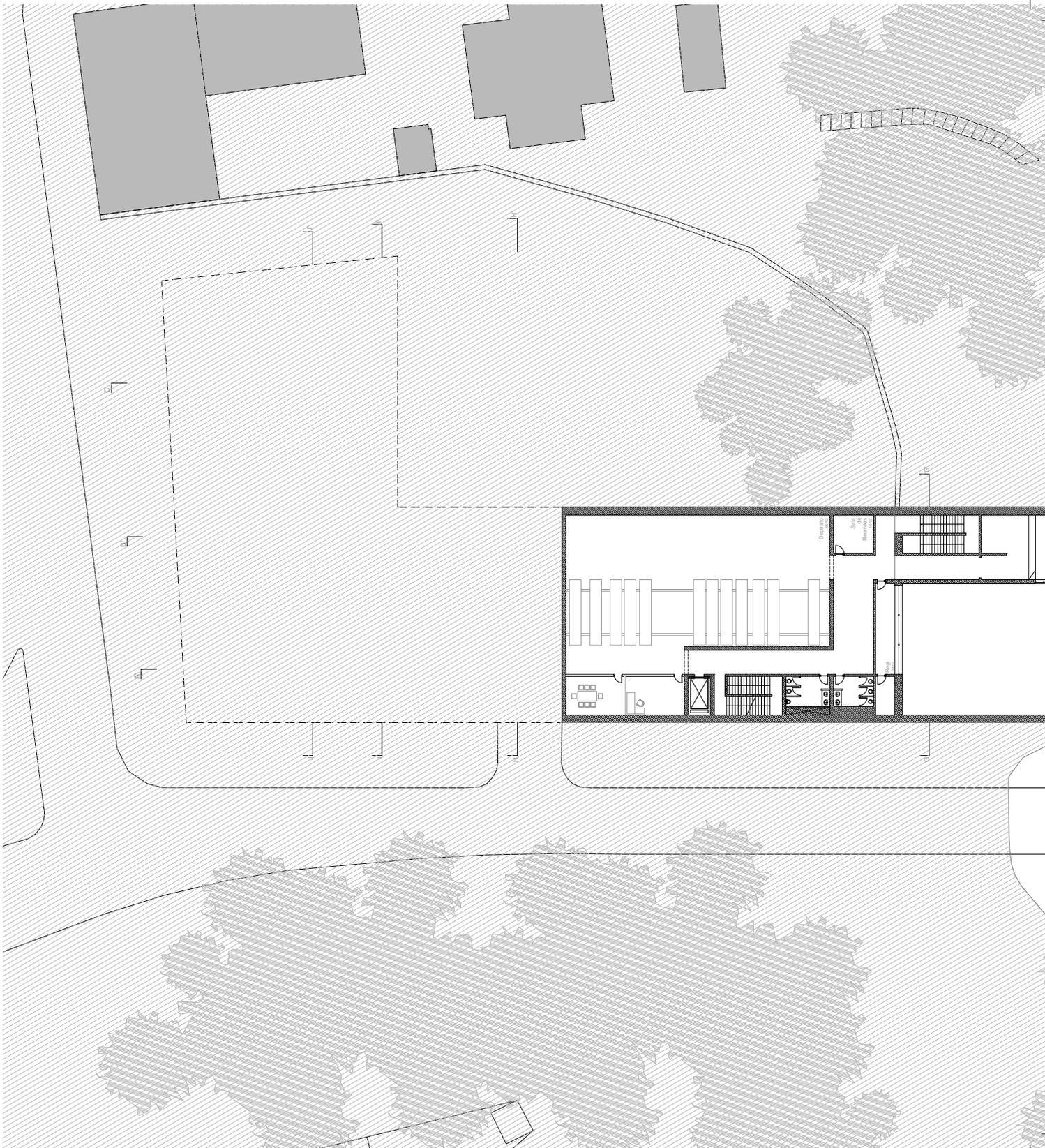


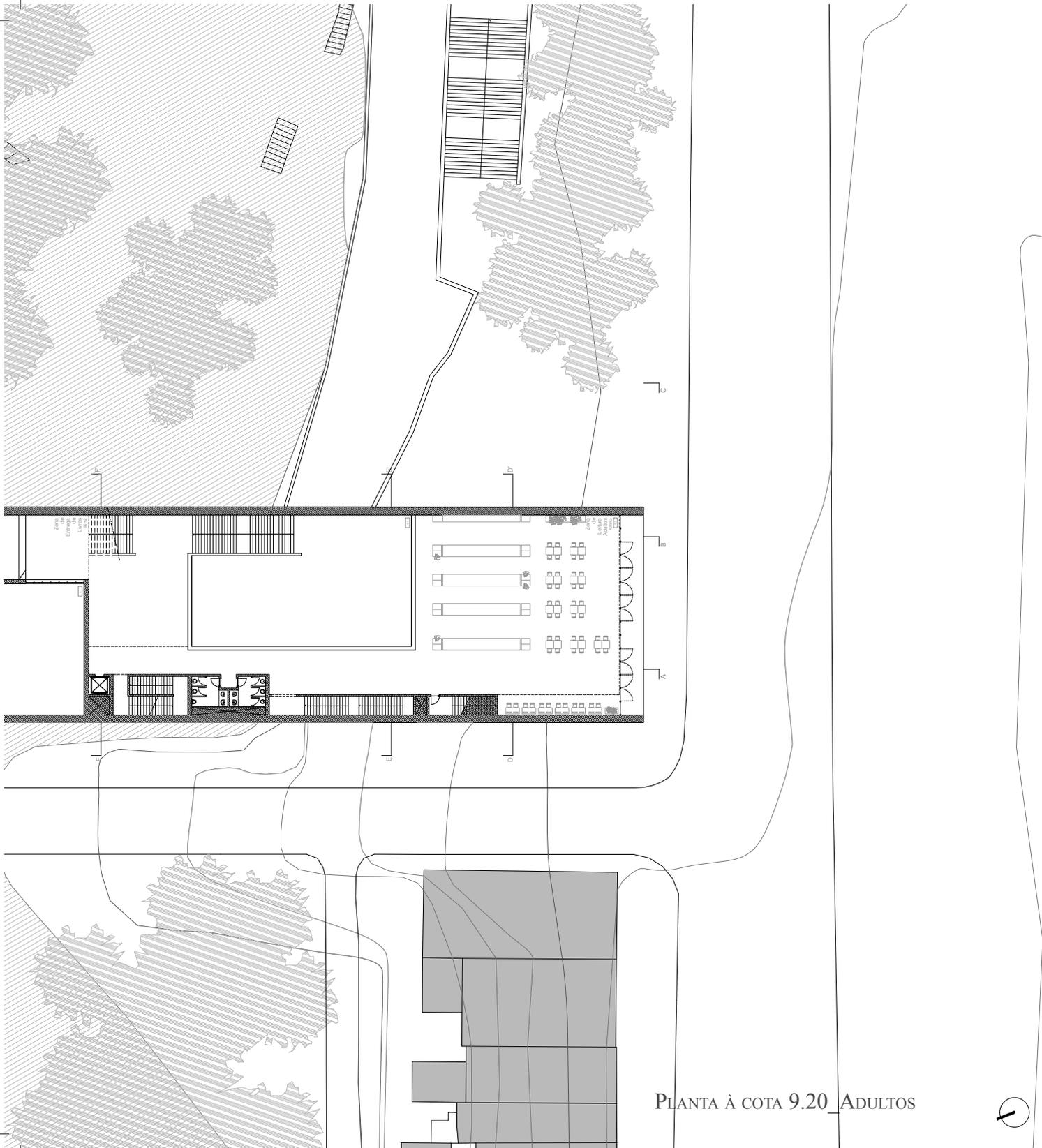


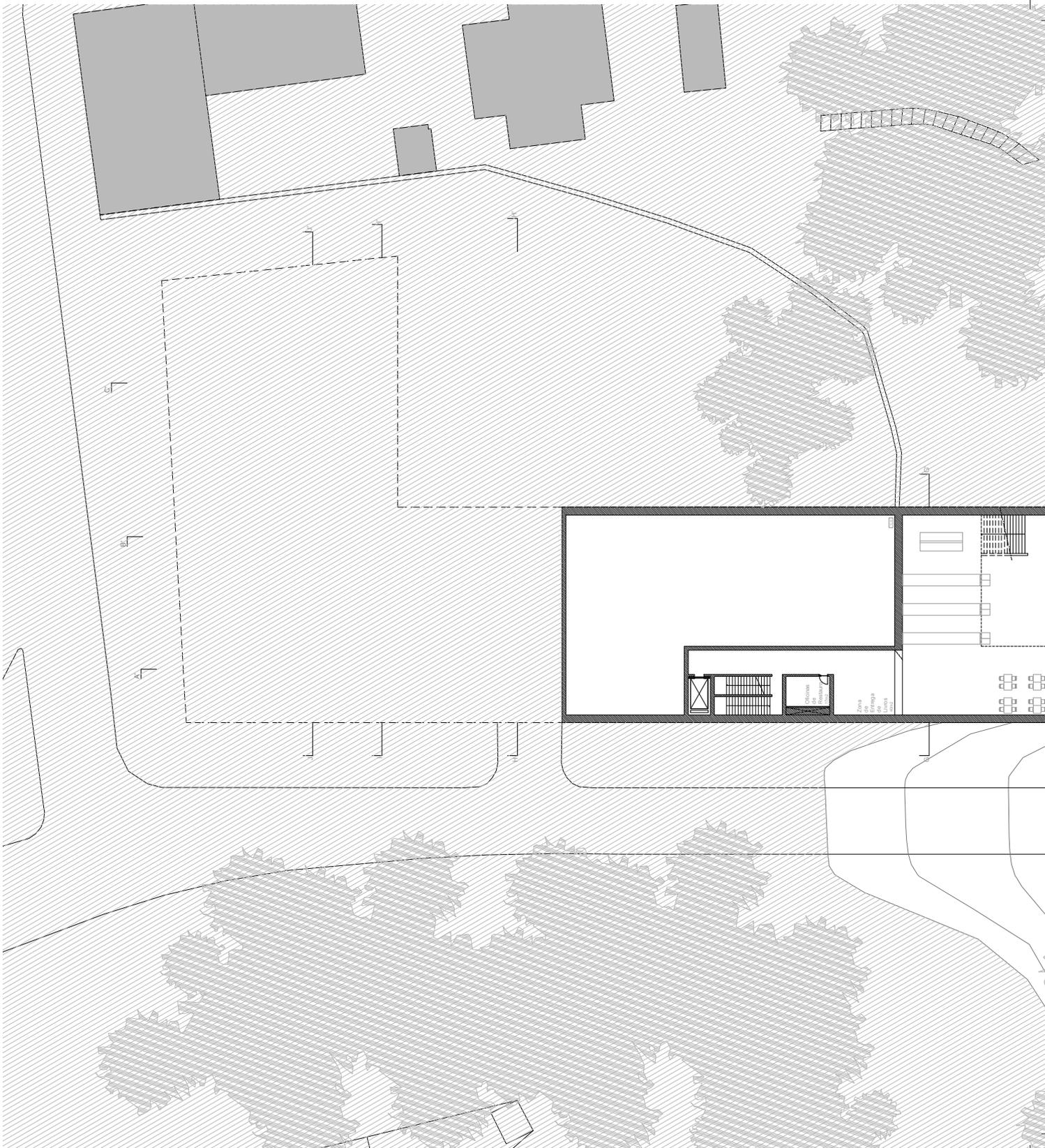


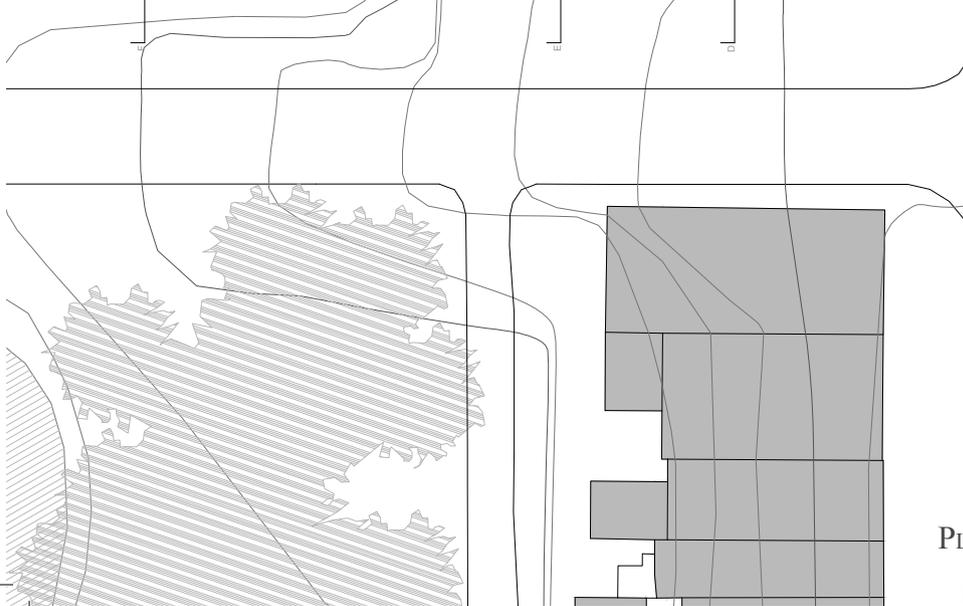
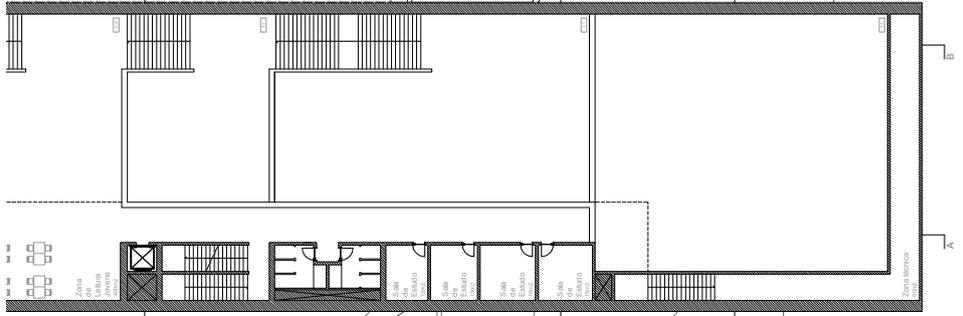
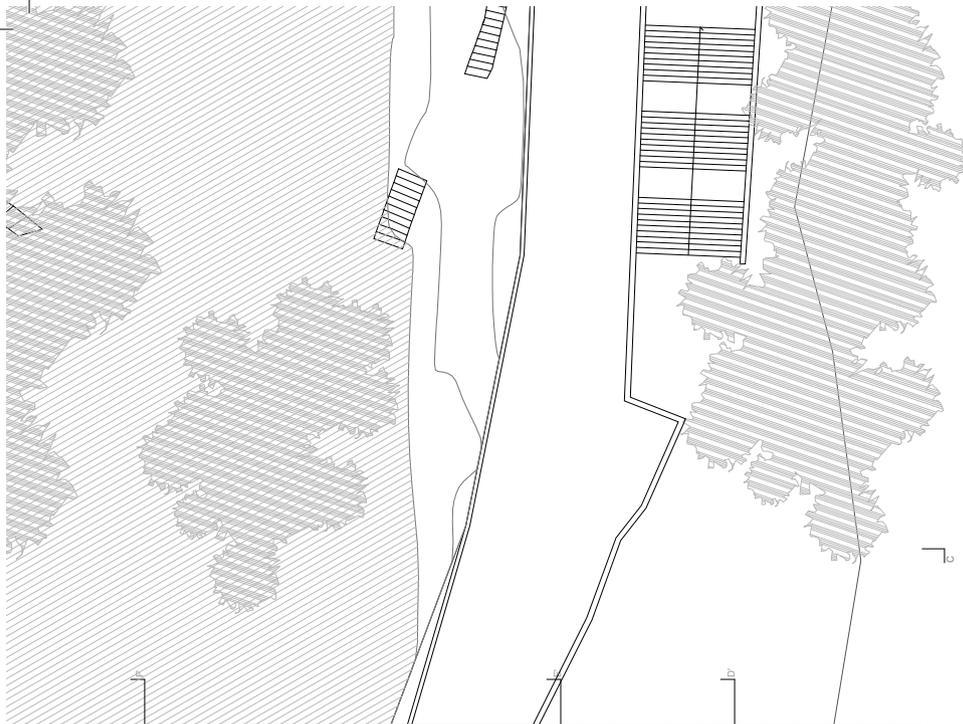
PLANTA À COTA 4.10 ENTRADA











b

b

b

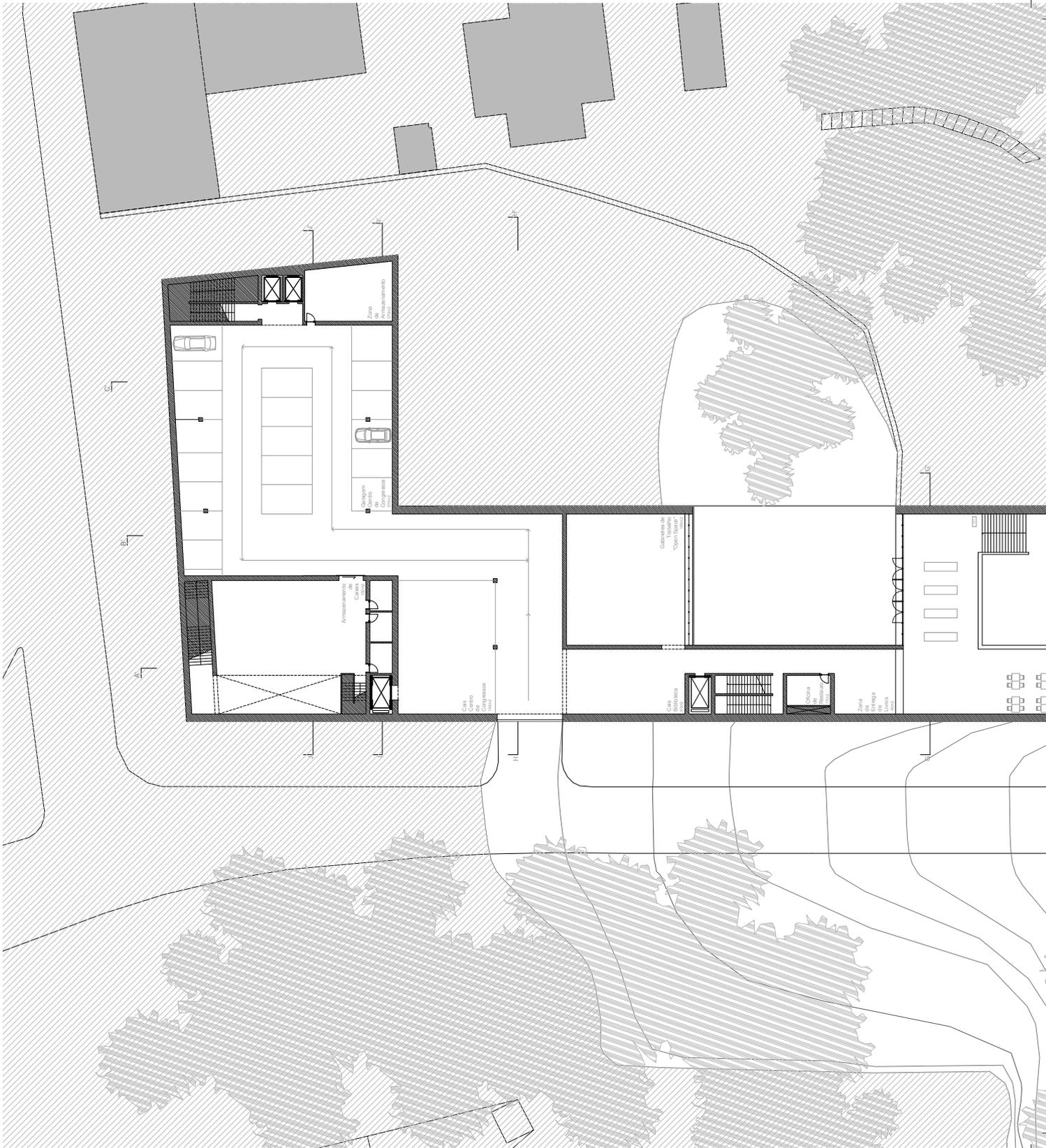
k

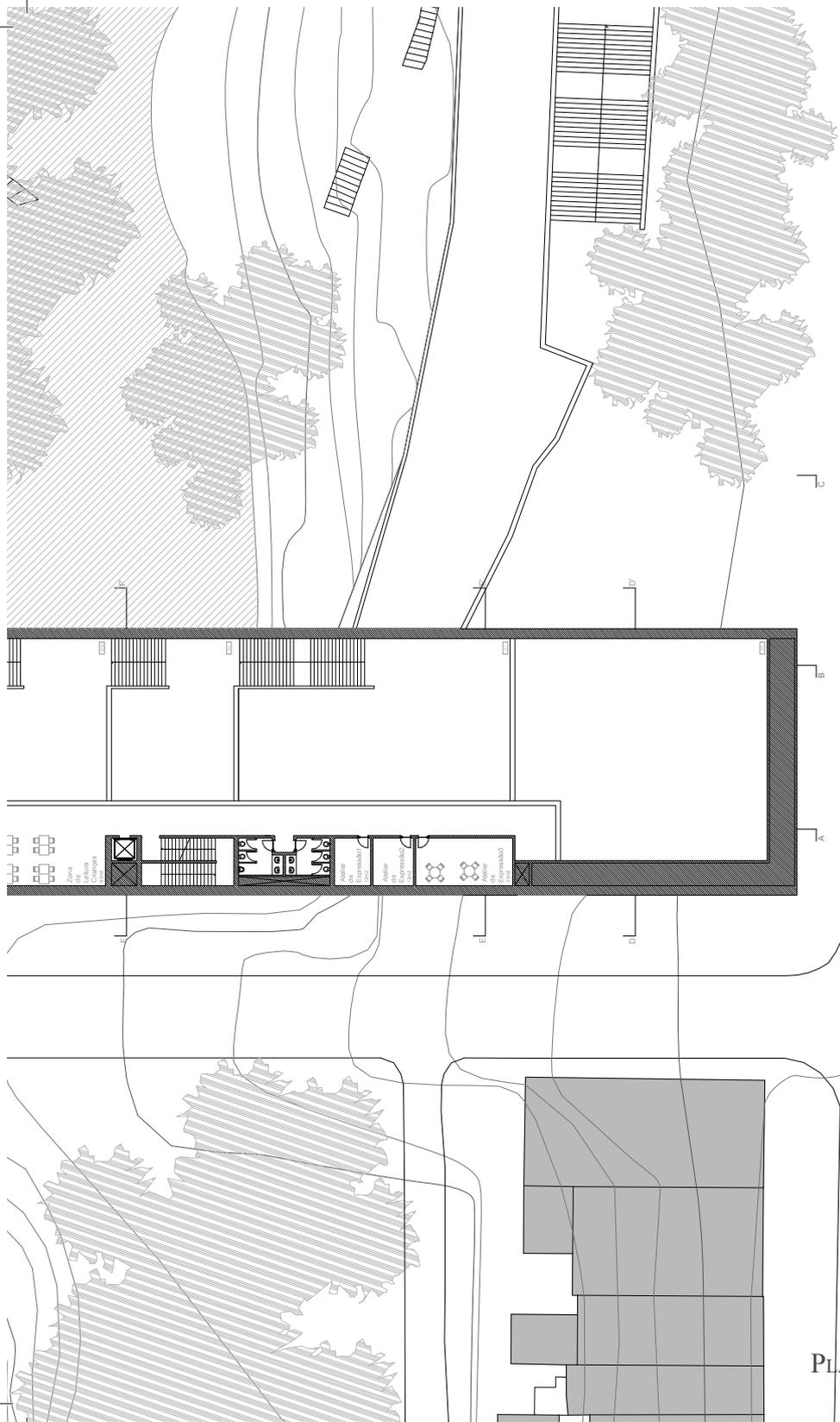
E

D

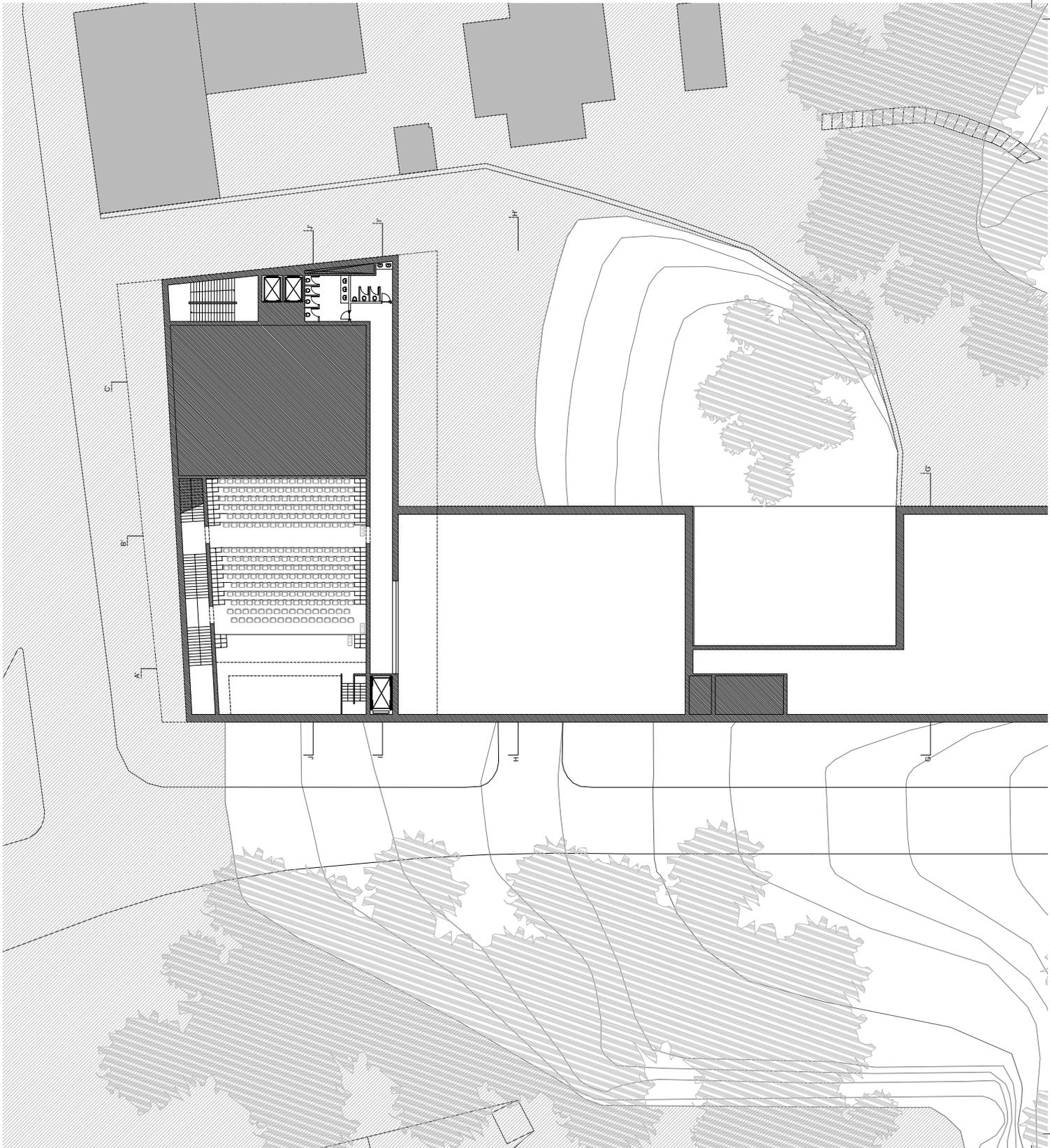
PLANTA À COTA 12.30 JOVENS

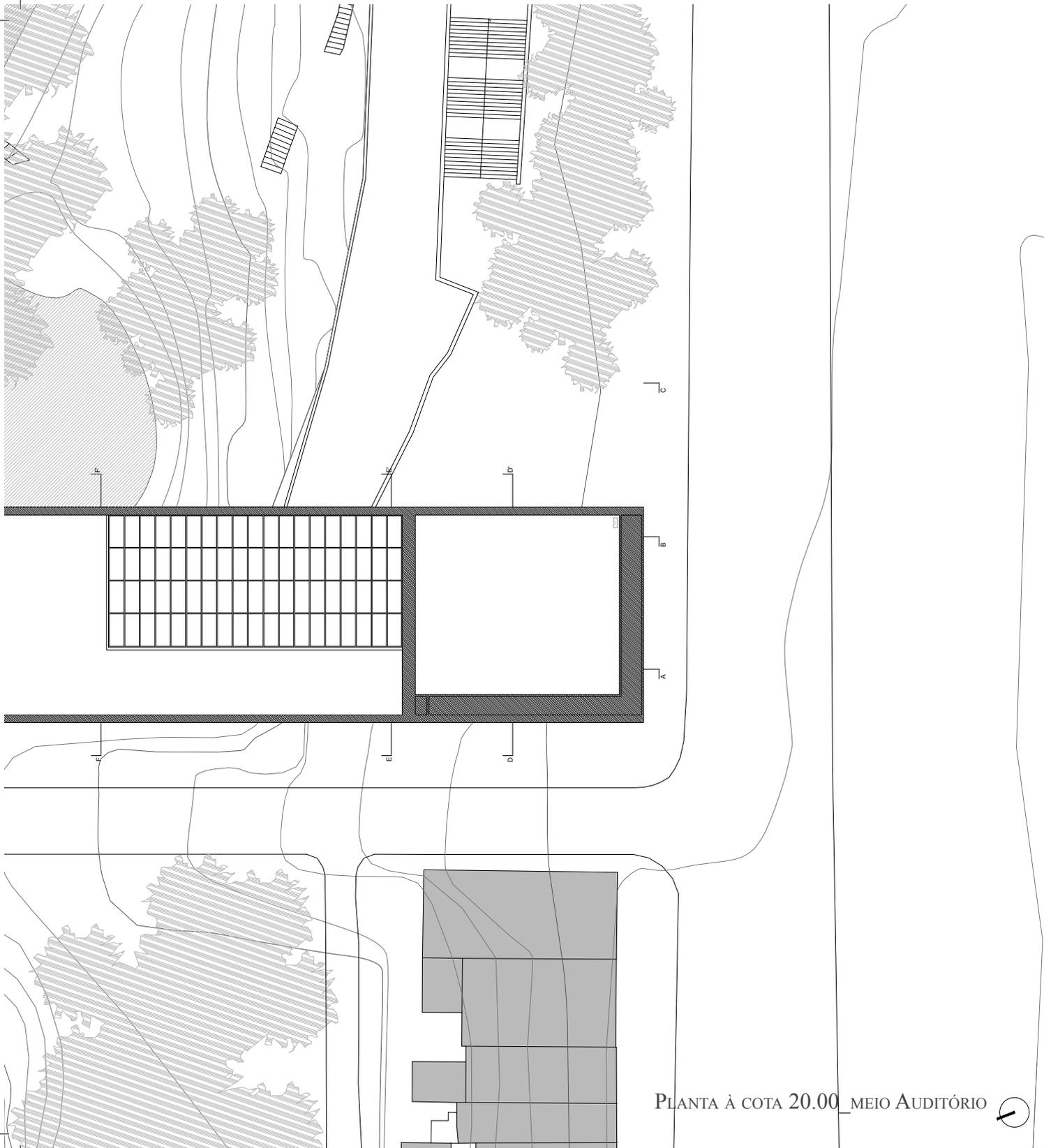






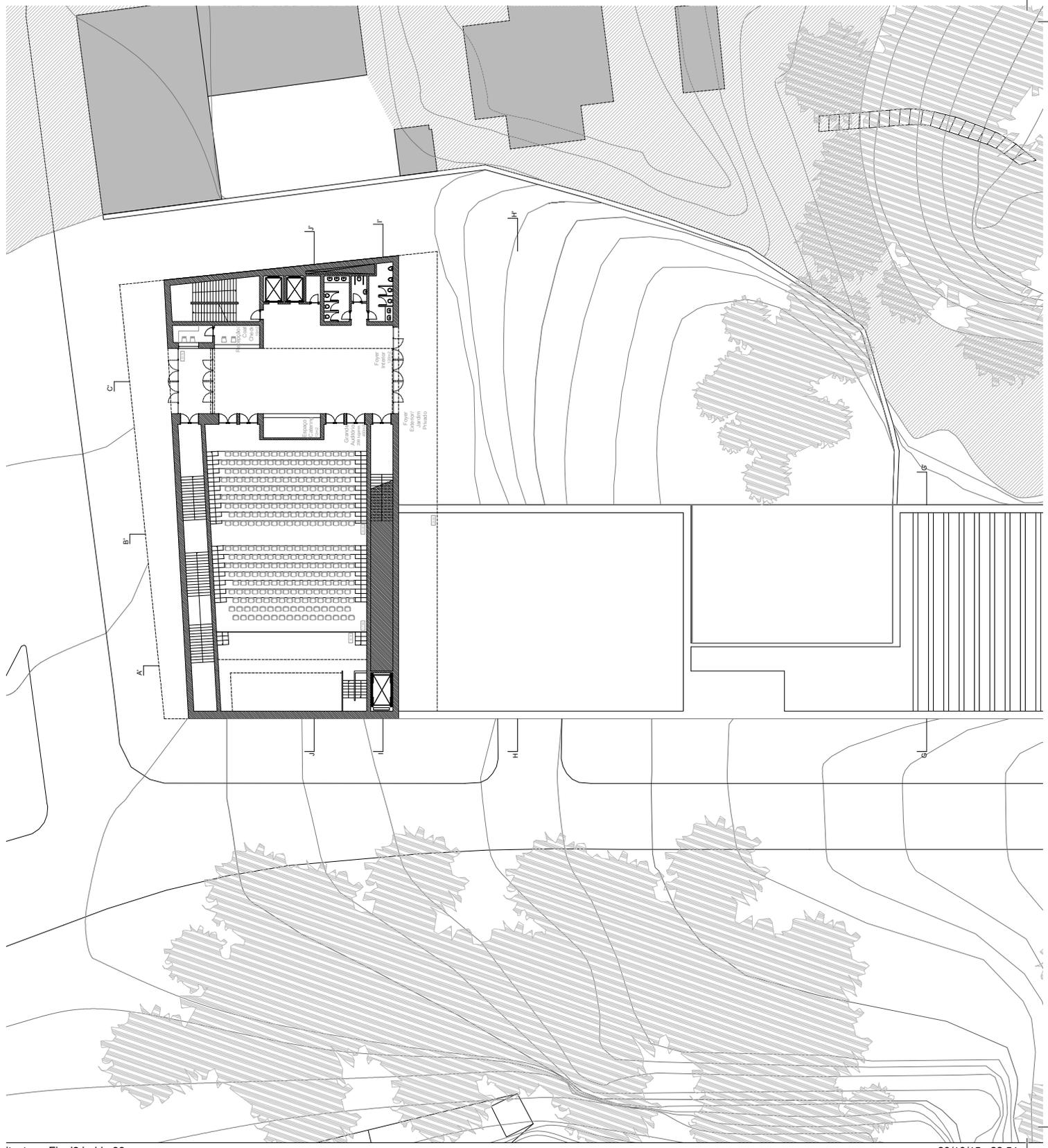
PLANTA À COTA 15.30\_CRIANÇAS





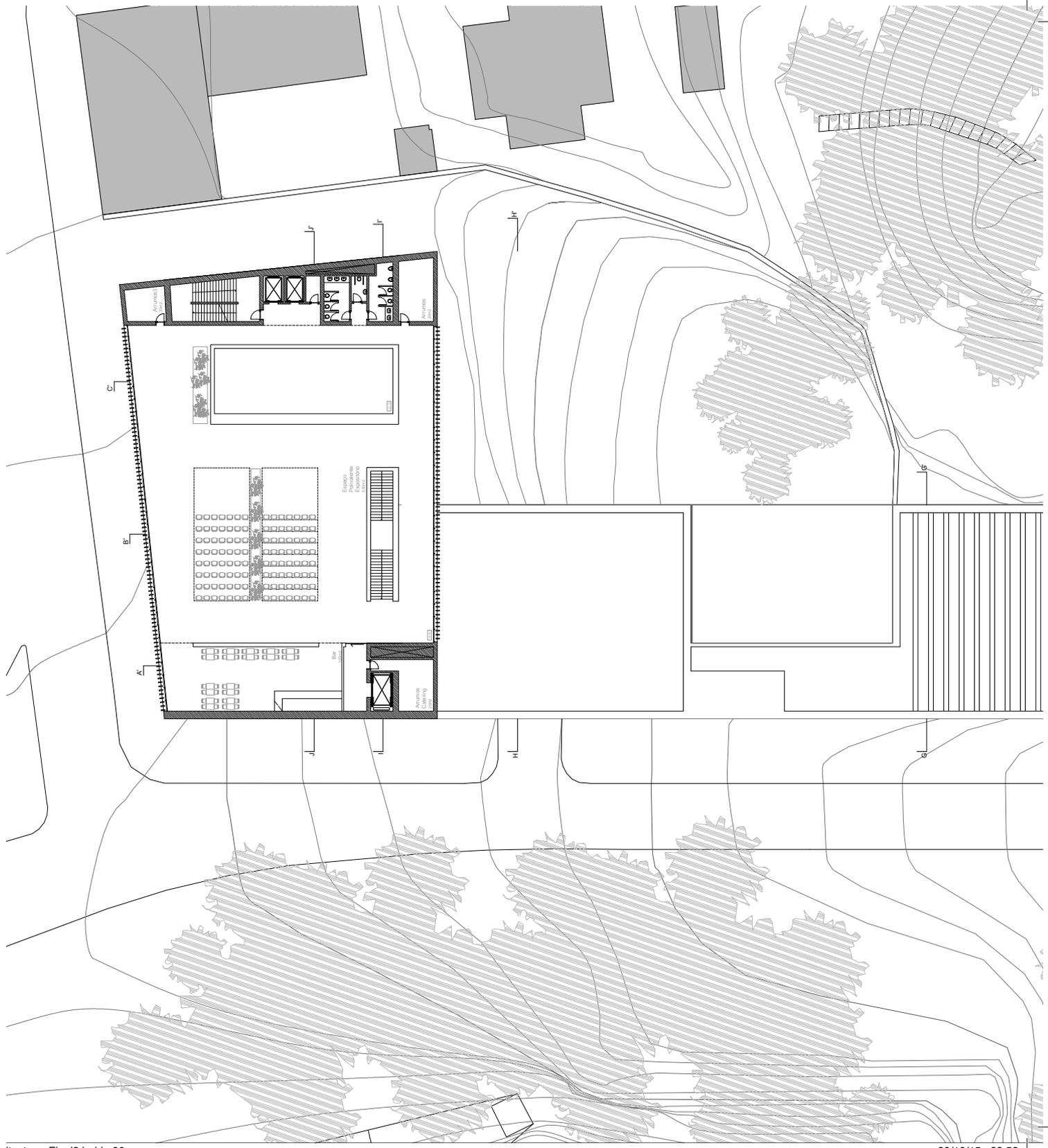
PLANTA À COTA 20.00 MEIO AUDITÓRIO





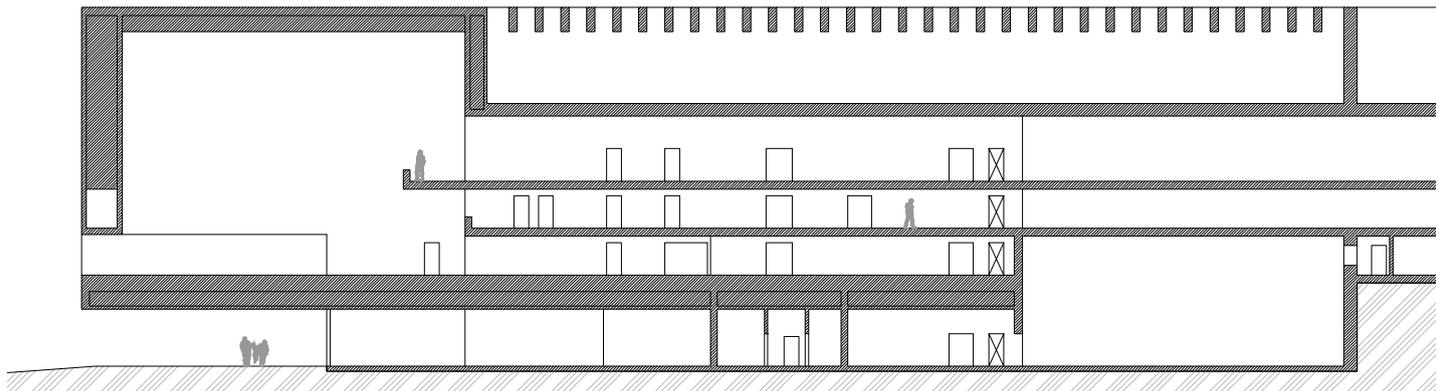
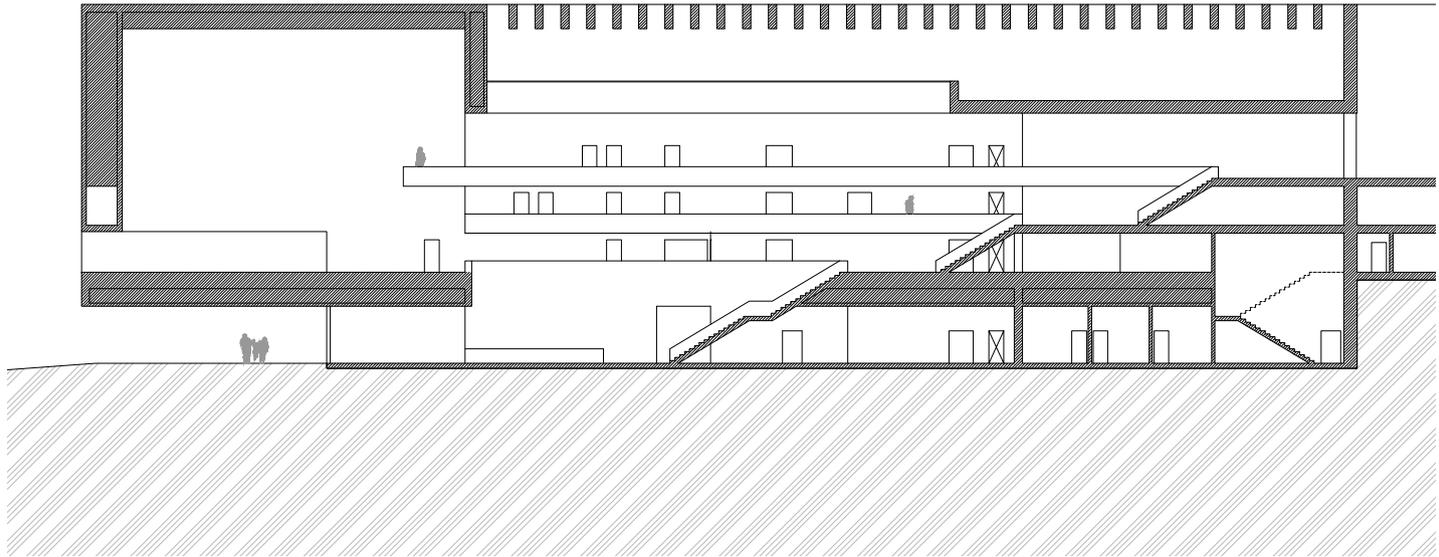


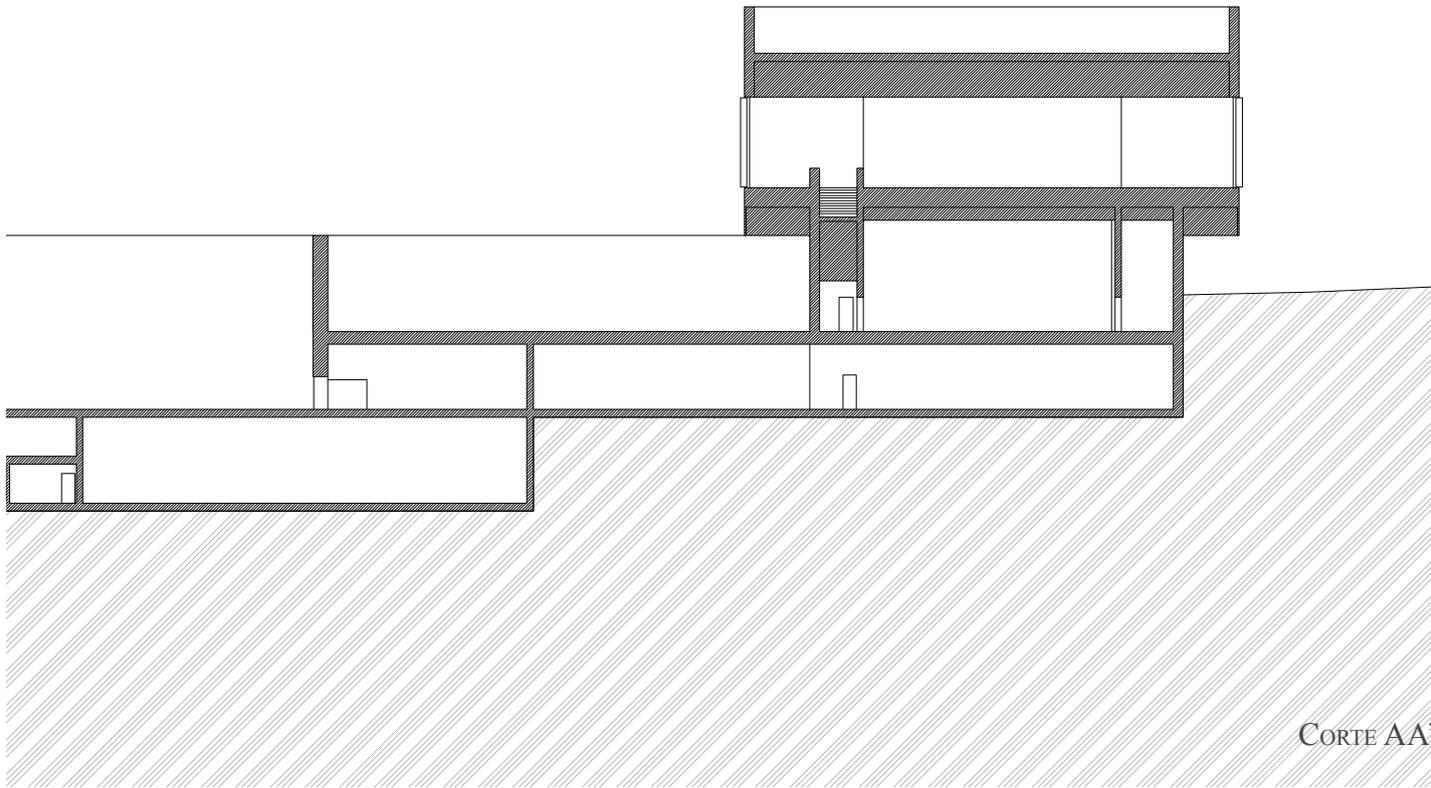
PLANTA À COTA 23.10\_ENTRADA



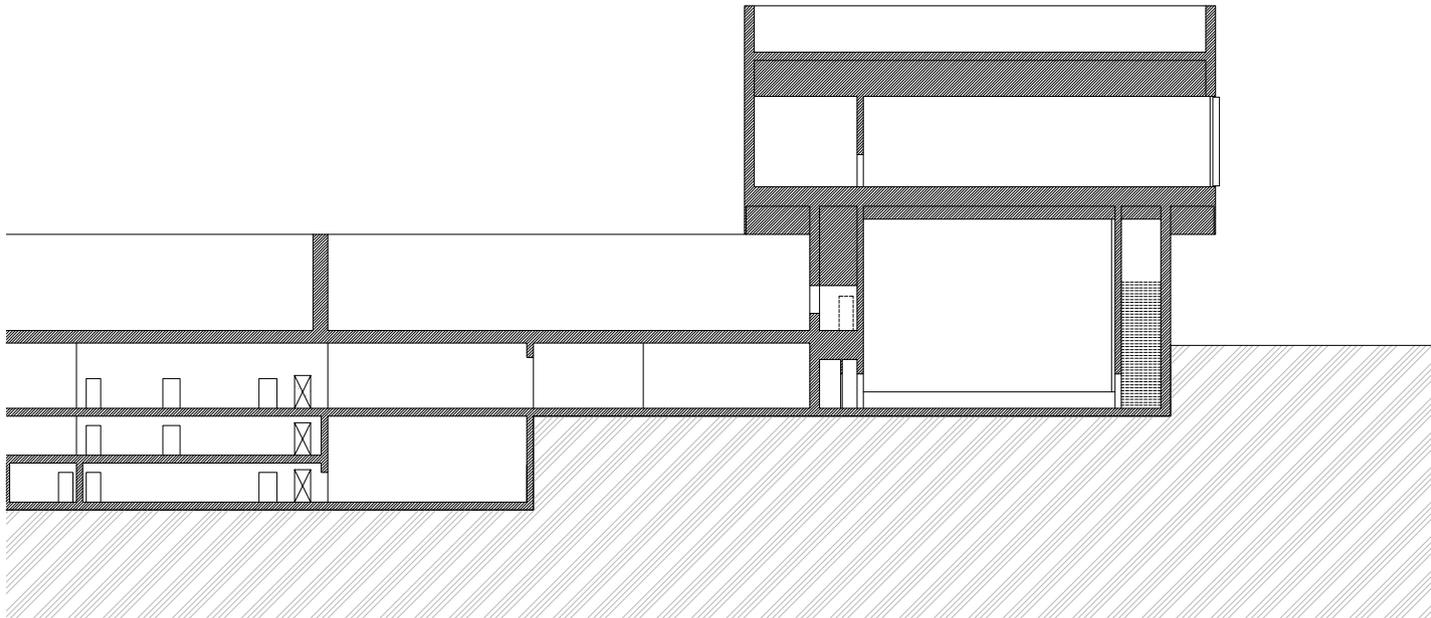


PLANTA À COTA 28.90 POLIVALENTE



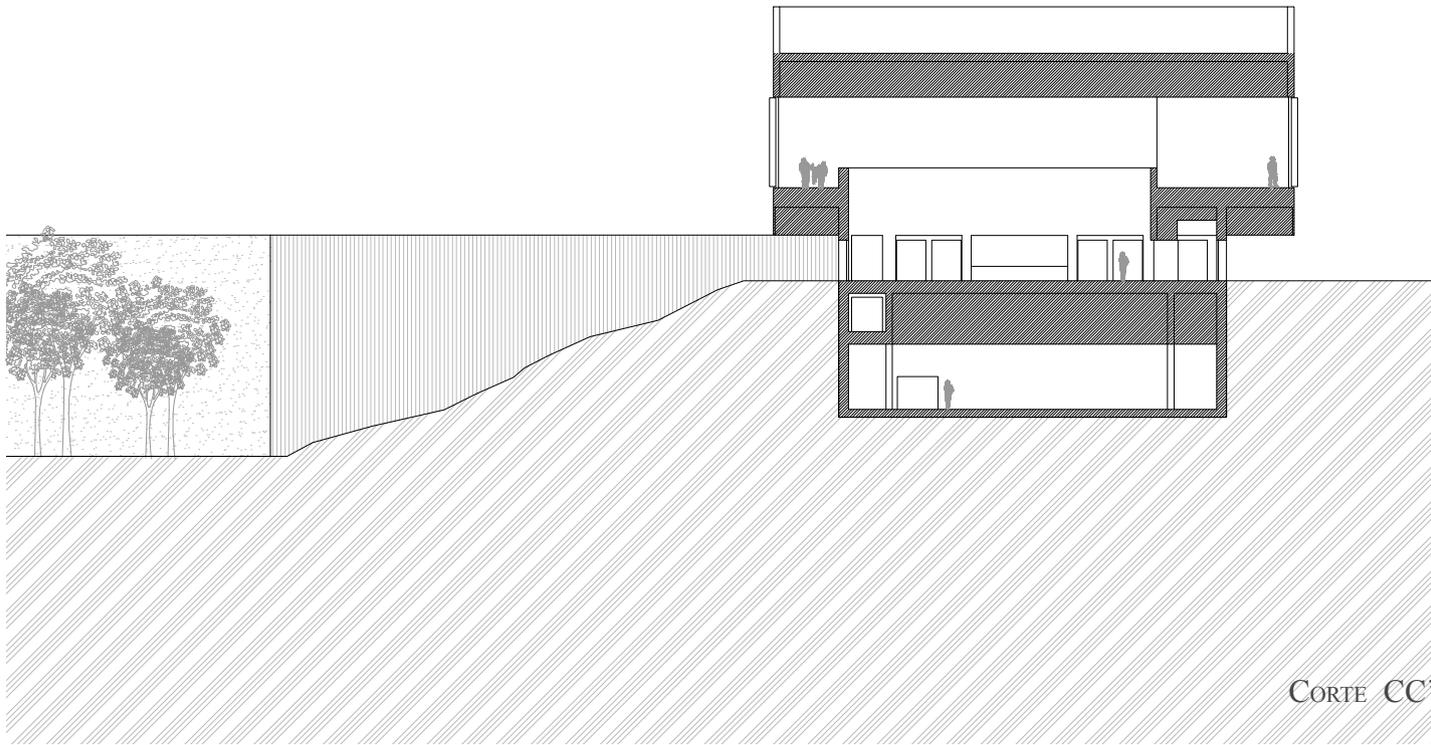


CORTE AA'

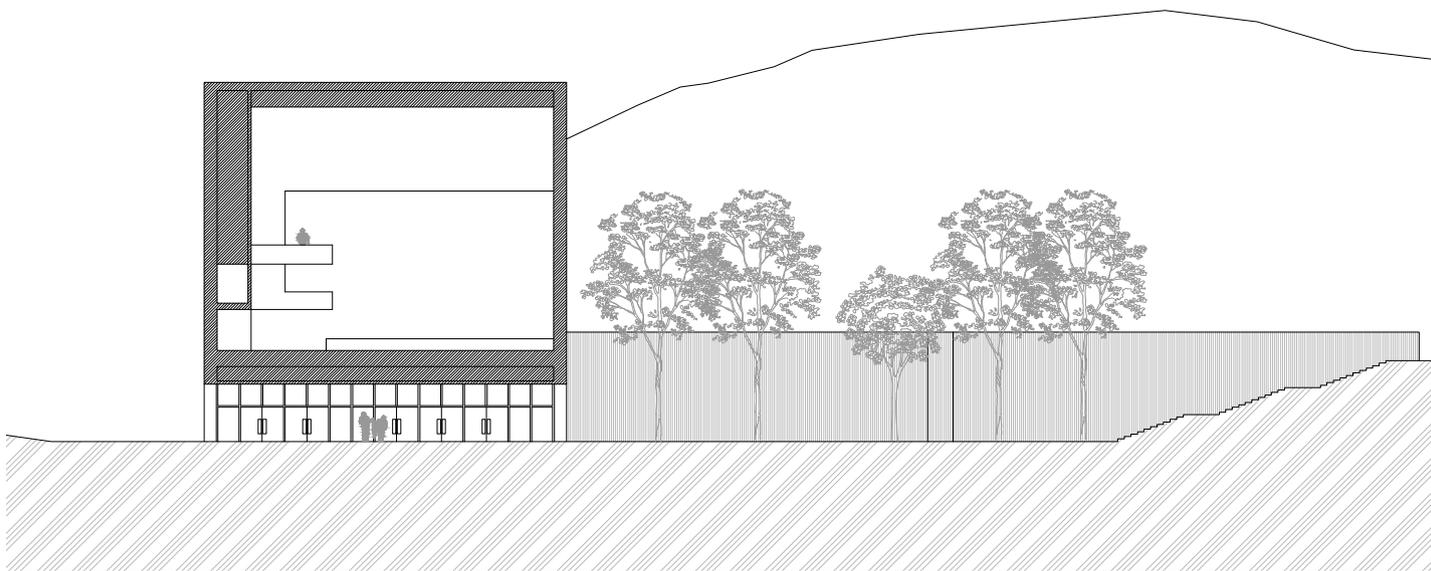


CORTE BB'

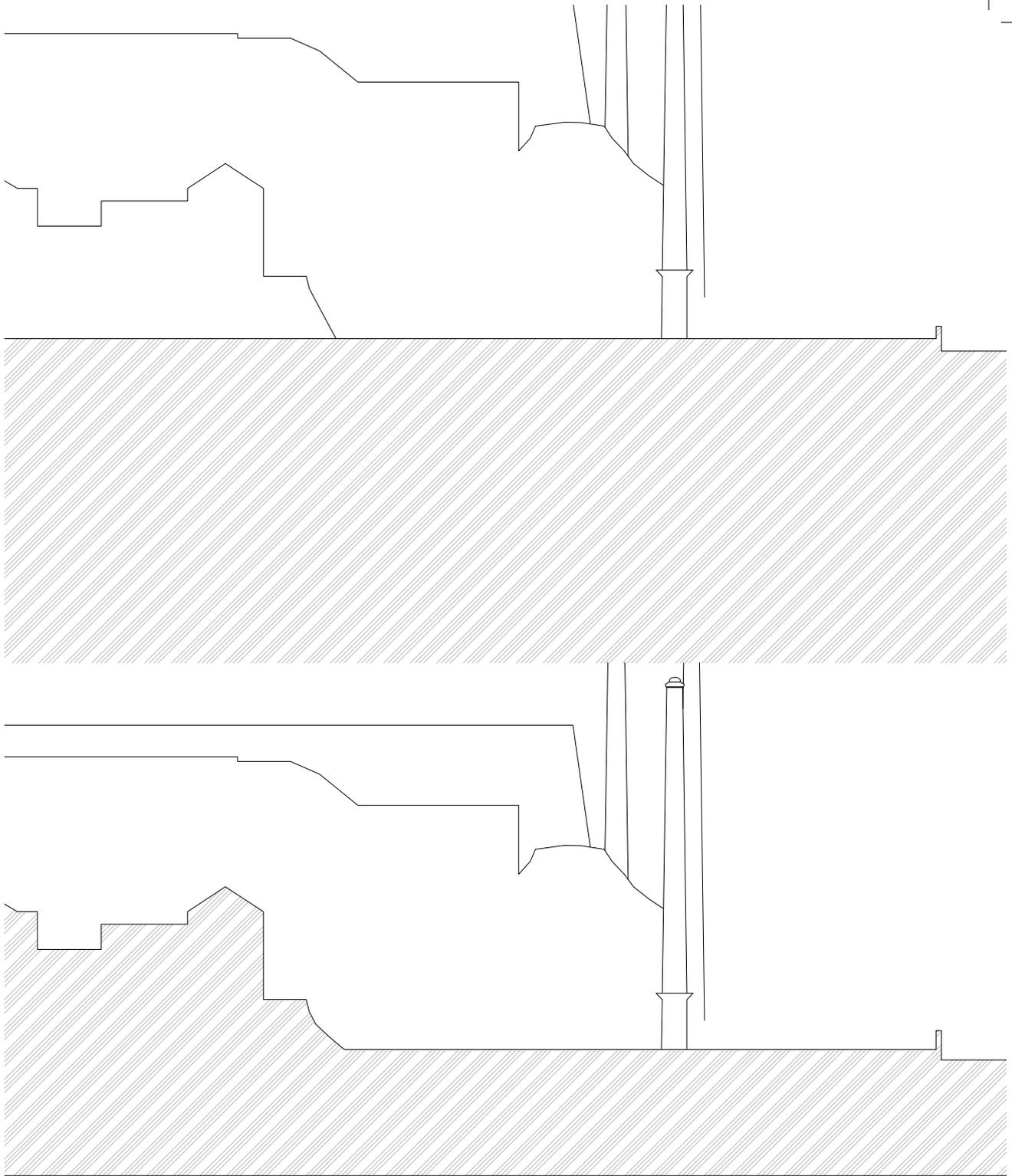


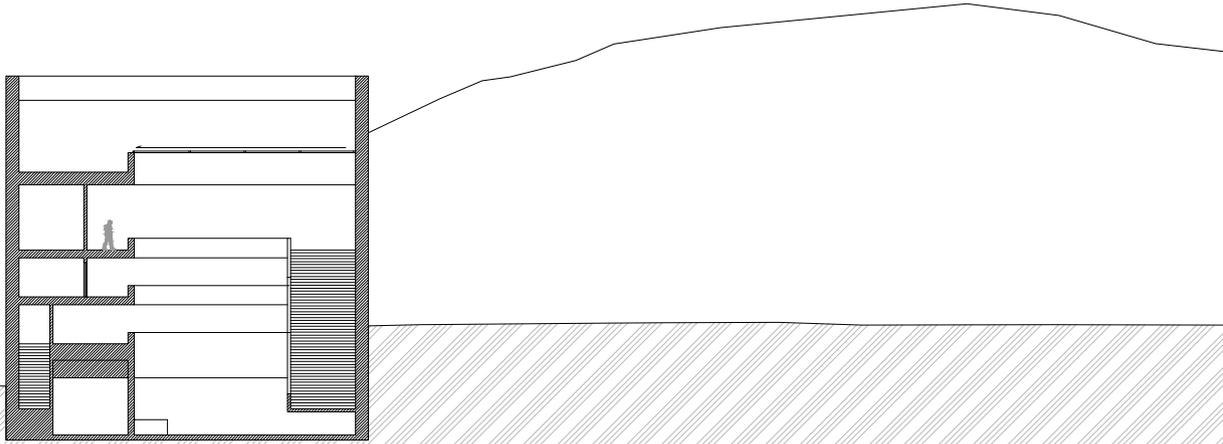


CORTE CC'

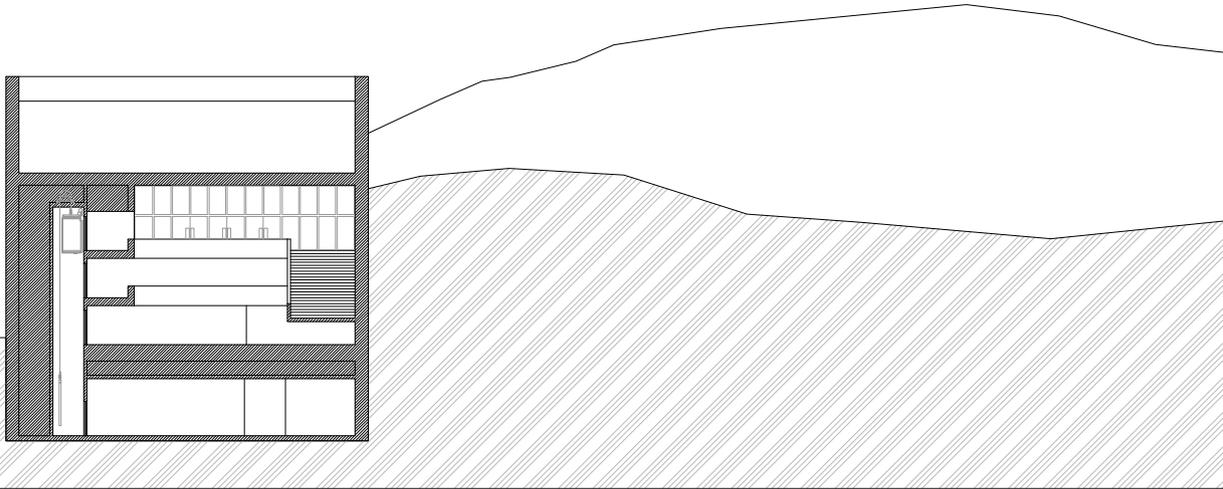


CORTE DD'

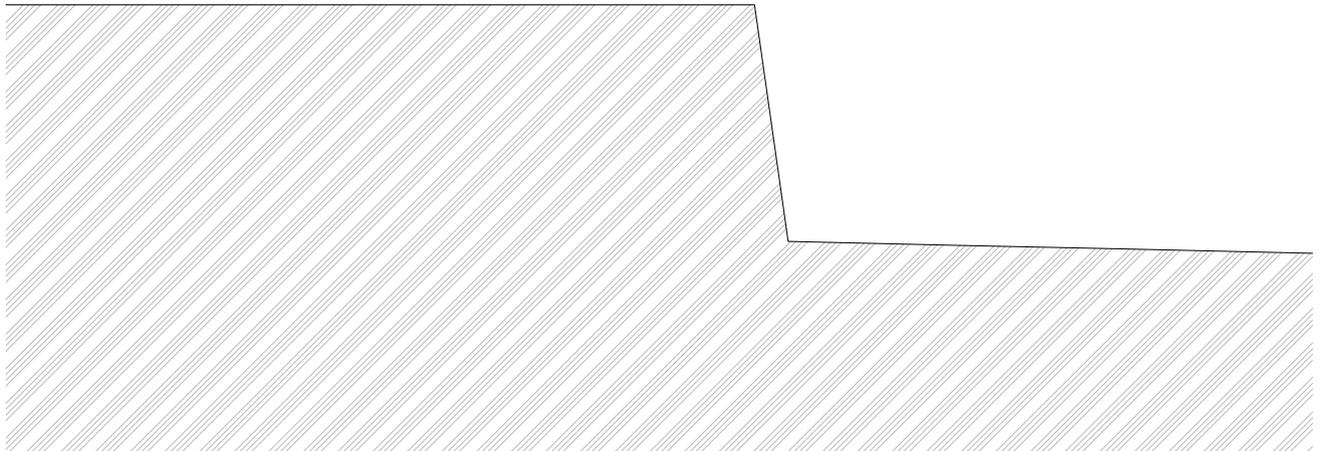
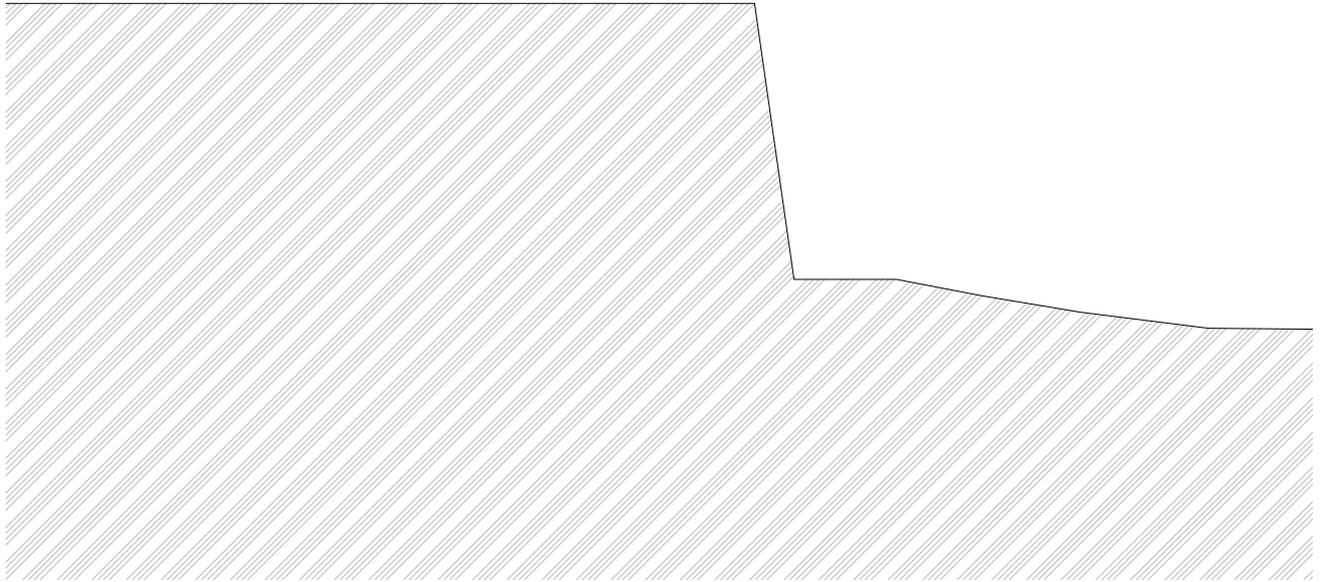


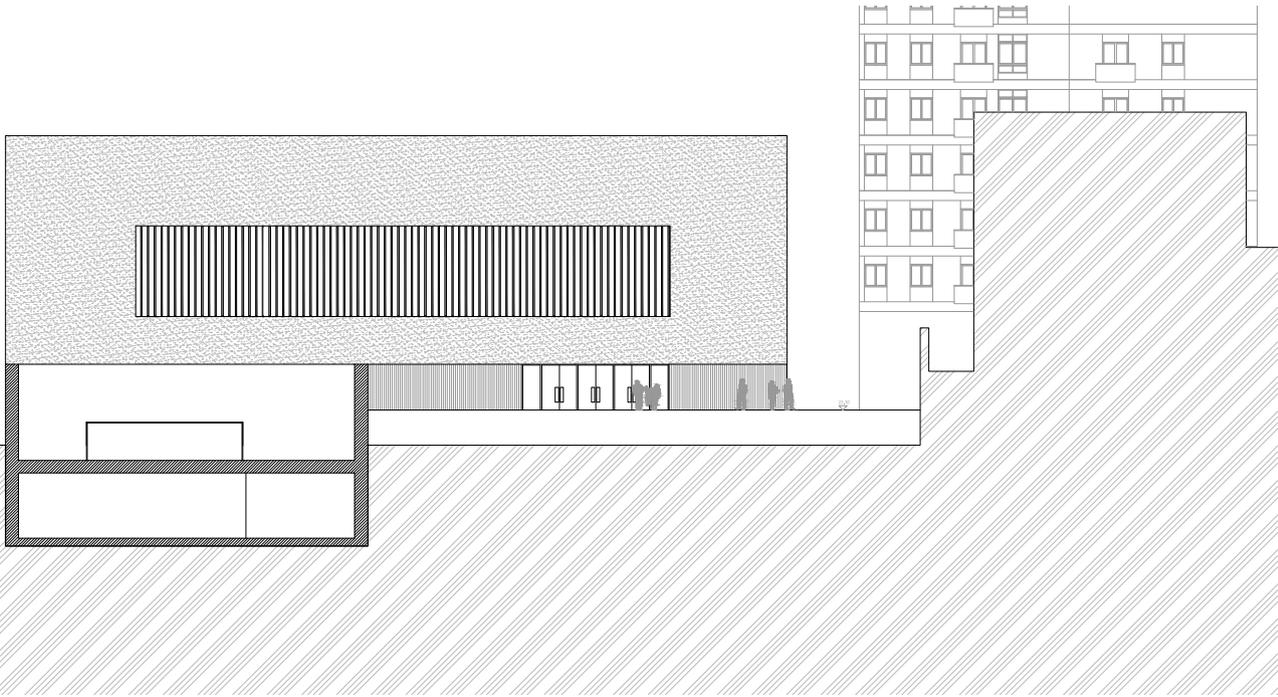


CORTE EE'

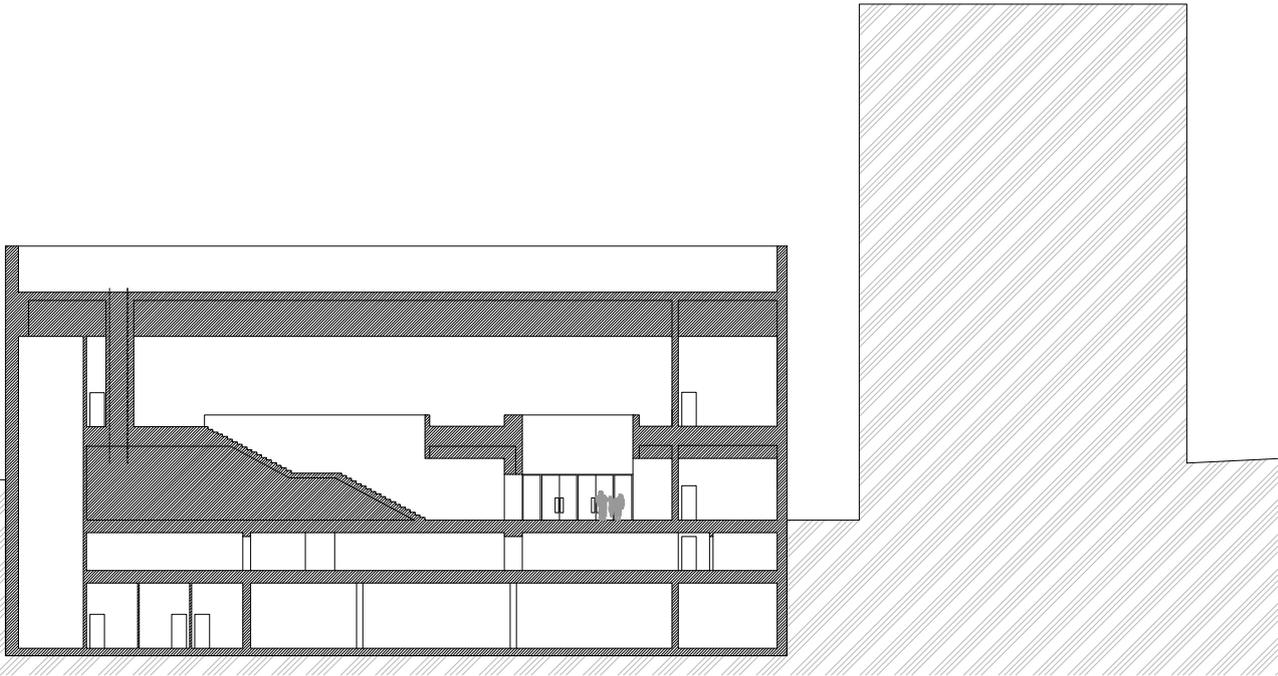


CORTE FF'

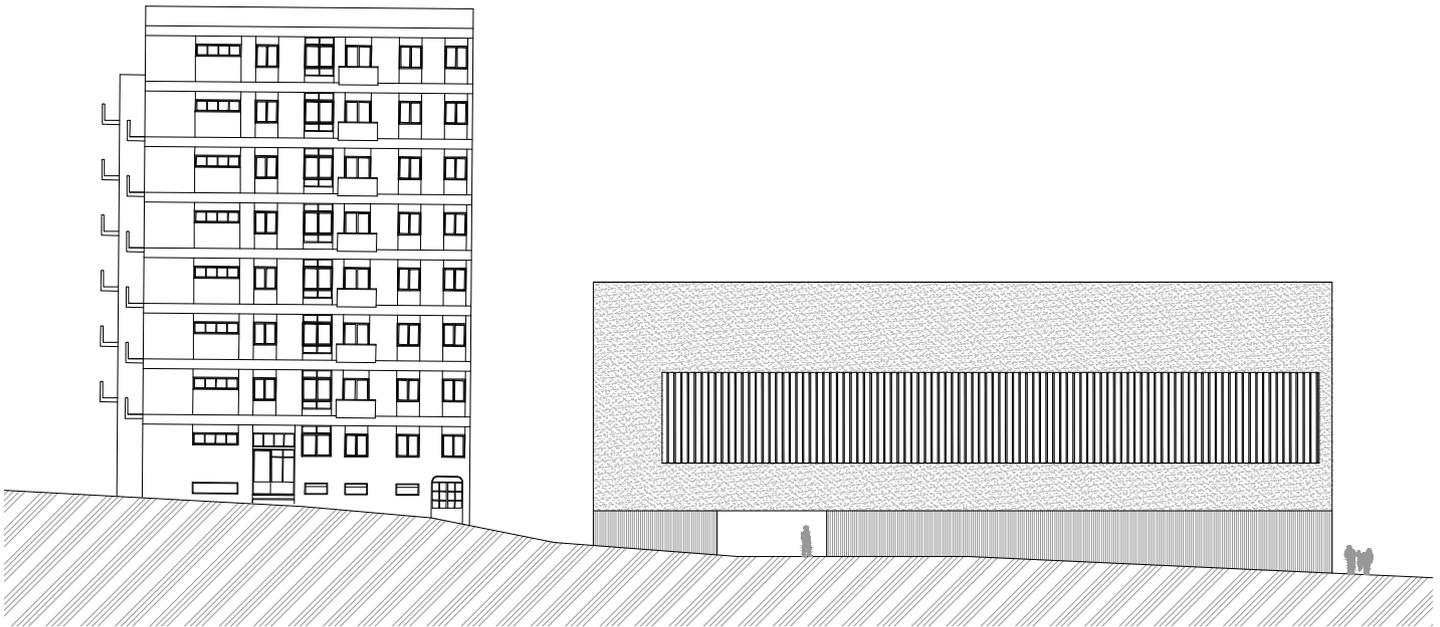
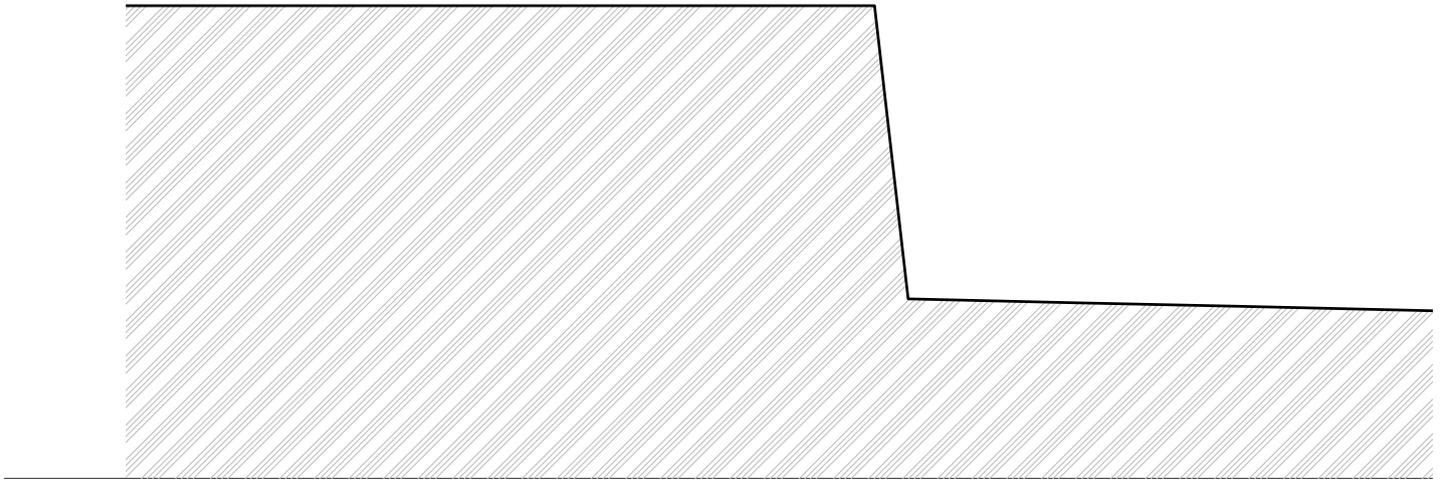


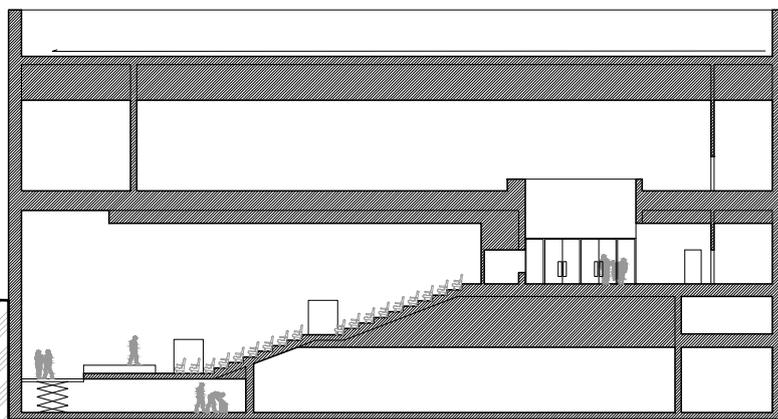


CORTE GG'

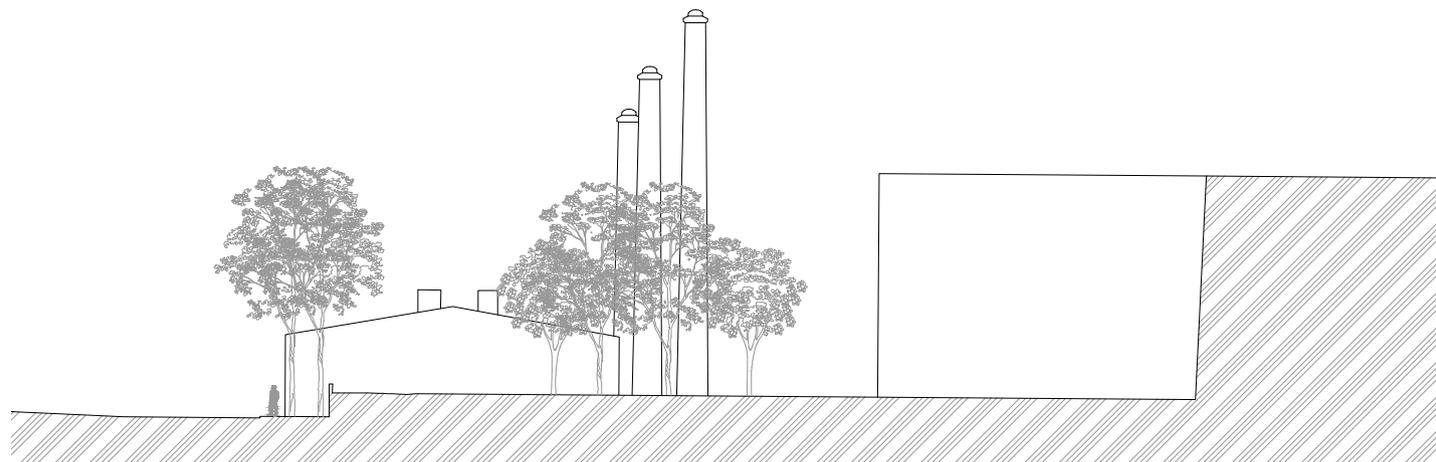


CORTE HH'

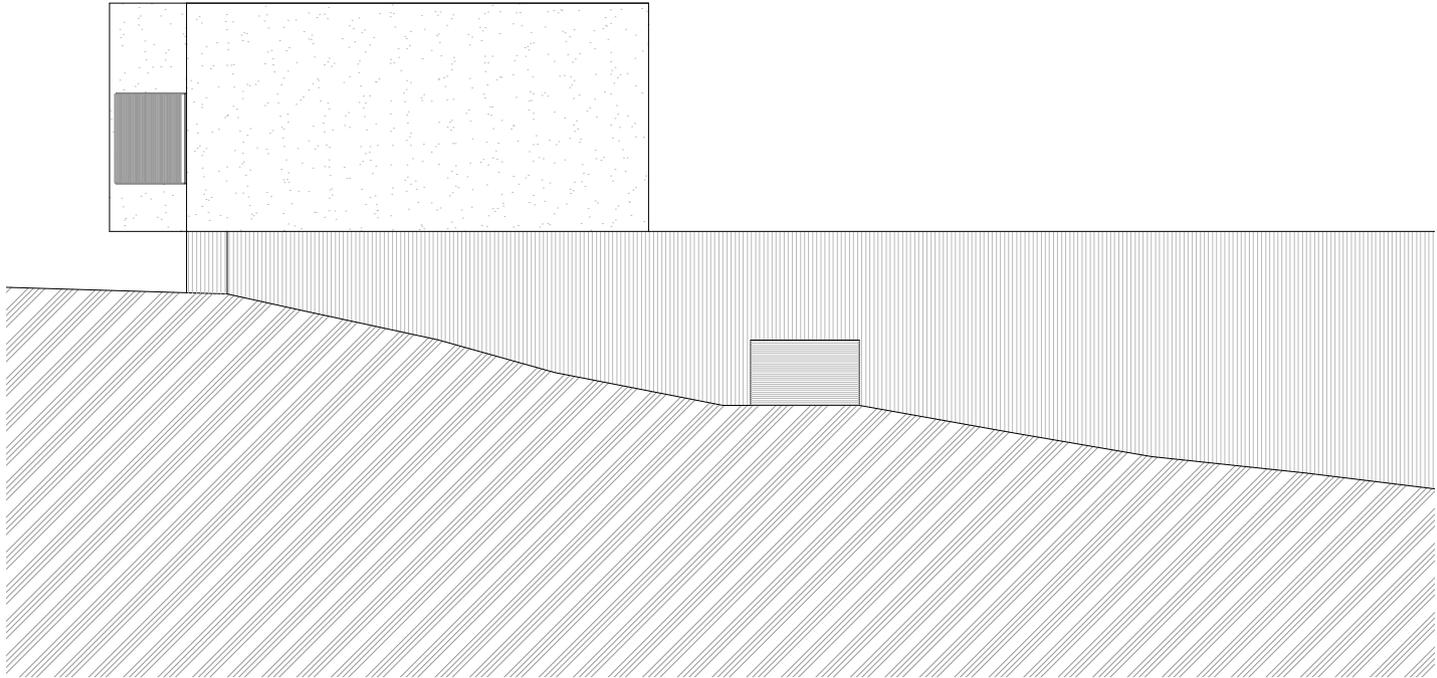




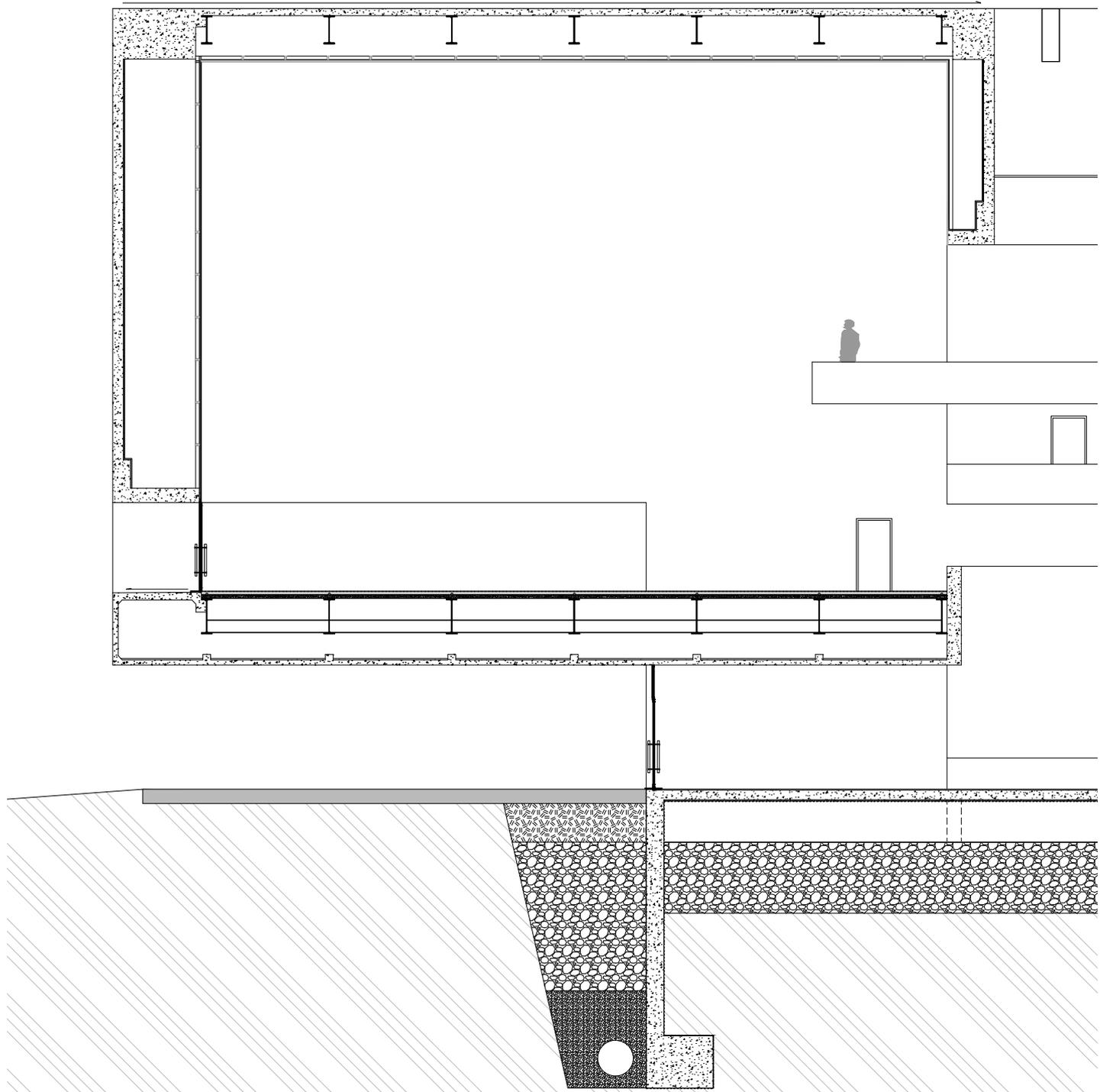
CORTE II'

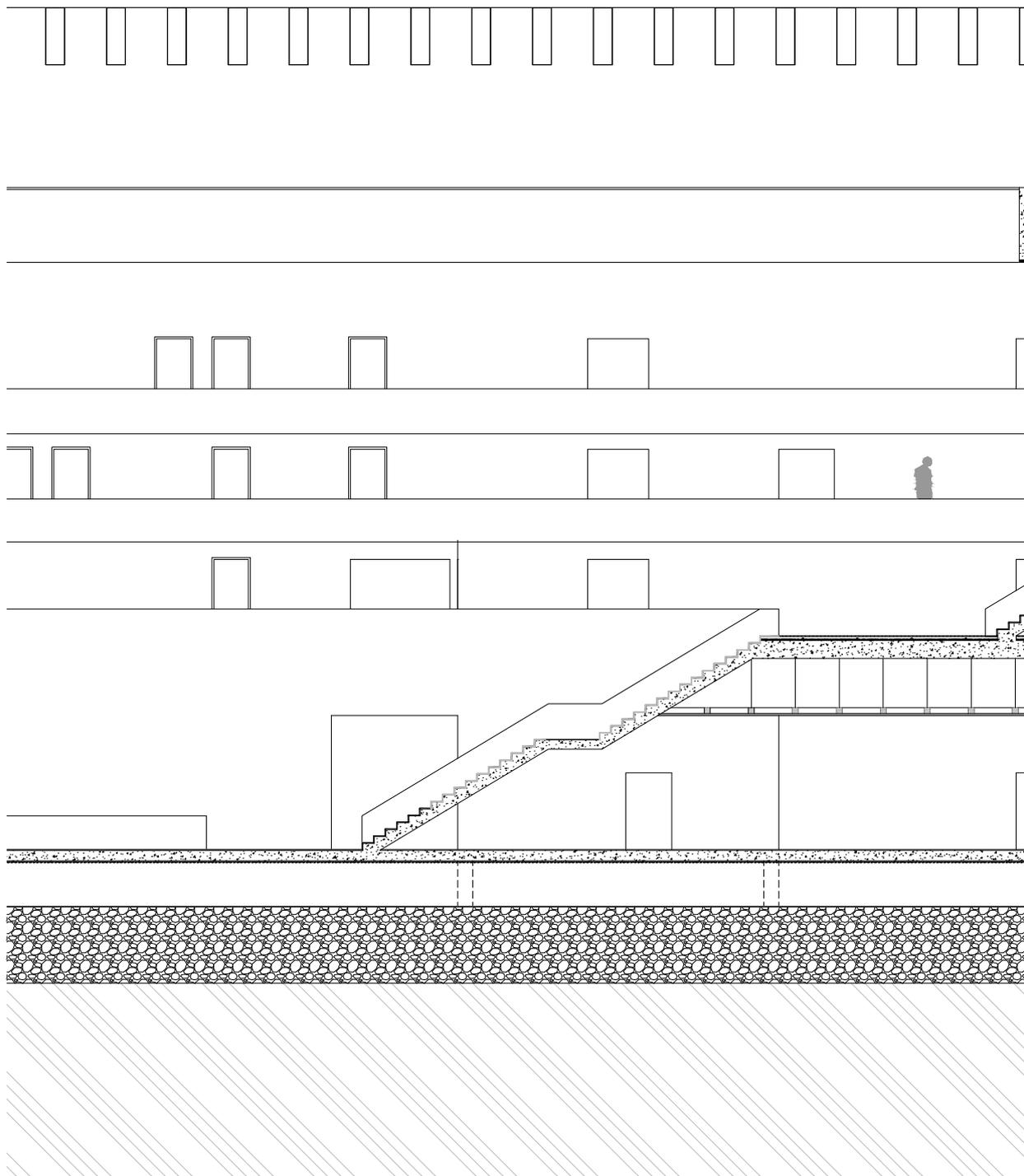


AÇADO NORTE





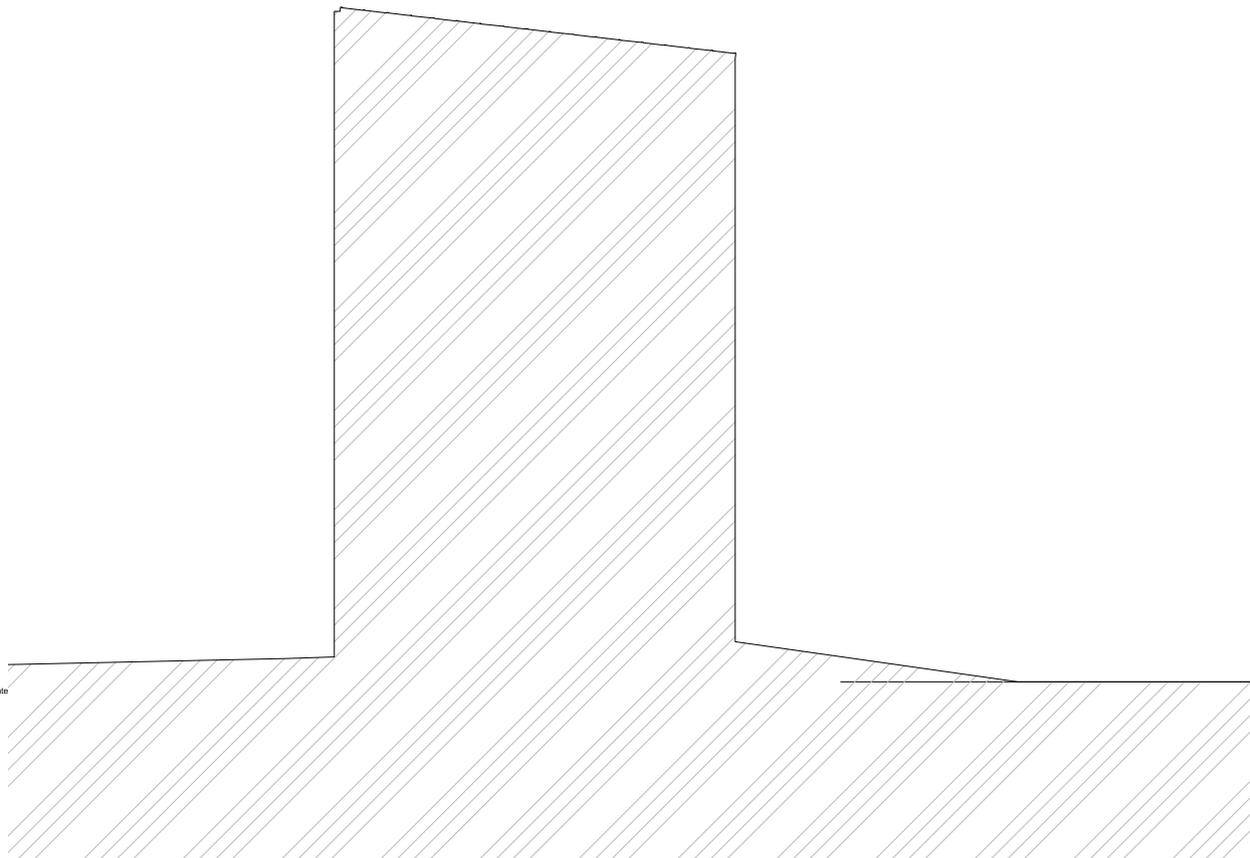


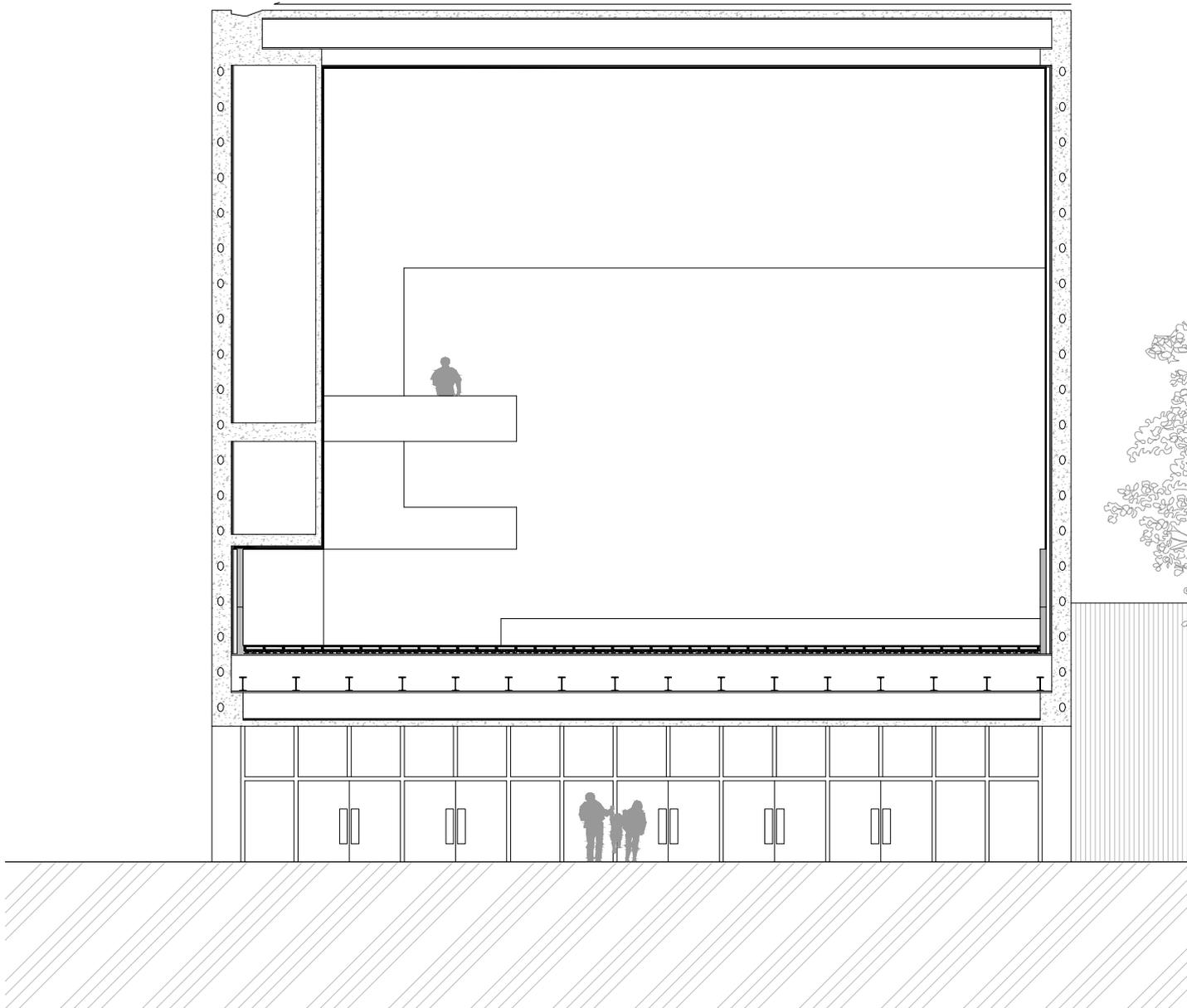


-  Vidro
-  Alumínio
-  Betão armado
-  Calçada
-  Teto falso com isolamento térmico e acústico - tipo oselint
-  Touvenant e tela geotêxtil
-  Tela impermeabilizante
-  Isolamento térmico - tipo Wallmate
-  Terreno

CORTE CONSTRUTIVO AA'

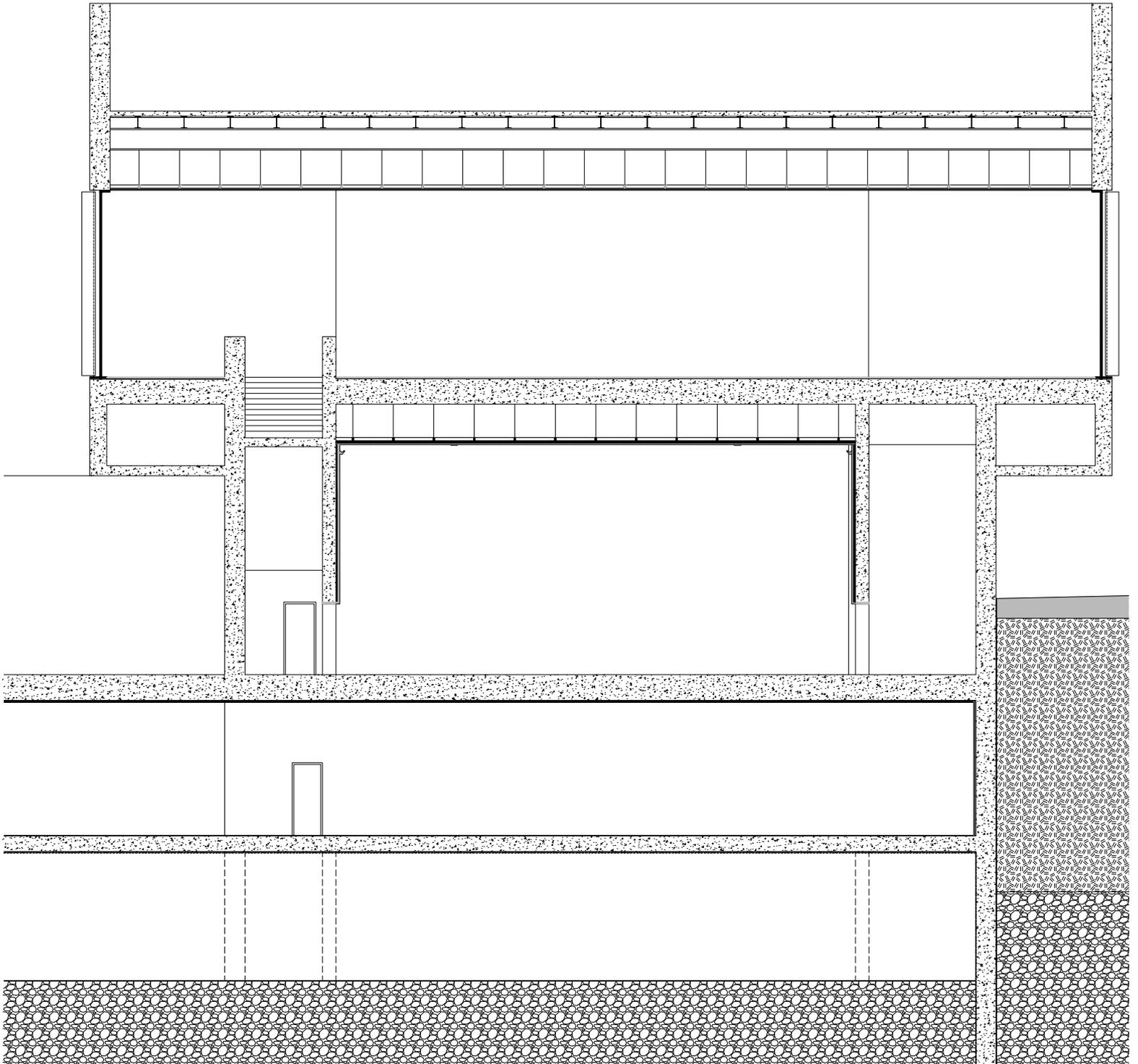
-  Vidro
-  Alumínio
-  Betão armado
-  Calçada
-  Teto falso com isolamento térmico e acústico - tipo celent
-  Touvenant e tela geotêxtil
-  Têla impermeabilizante
-  Isolamento térmico - tipo Wallmate
-  Terreno





CORTE CONSTRUTIVO DD'

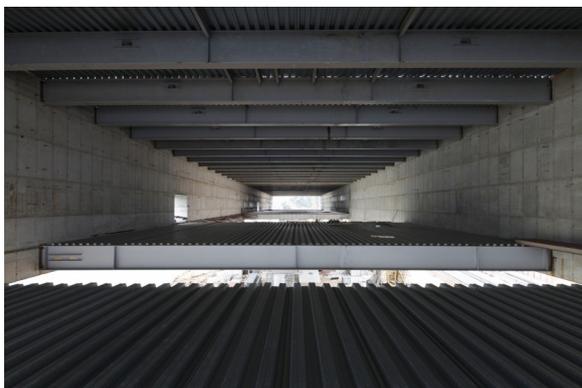




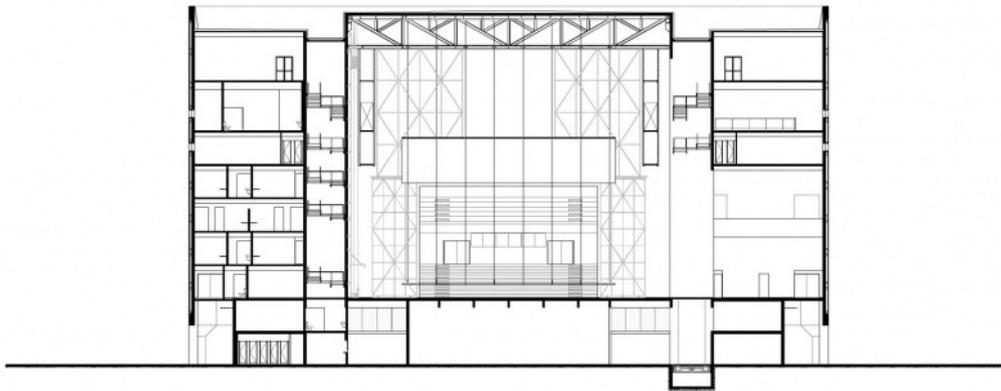
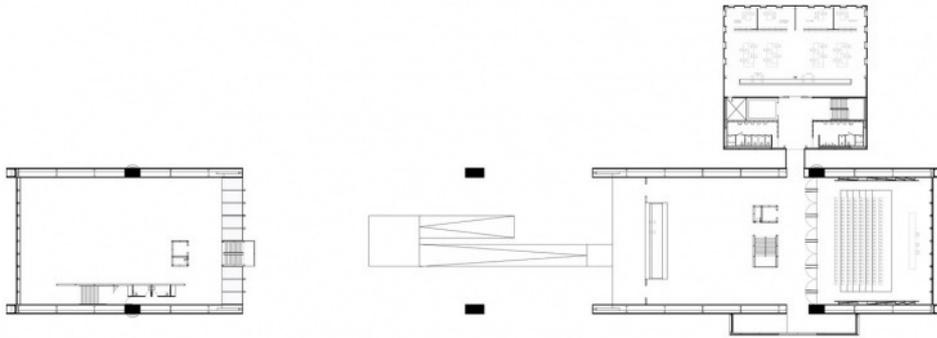
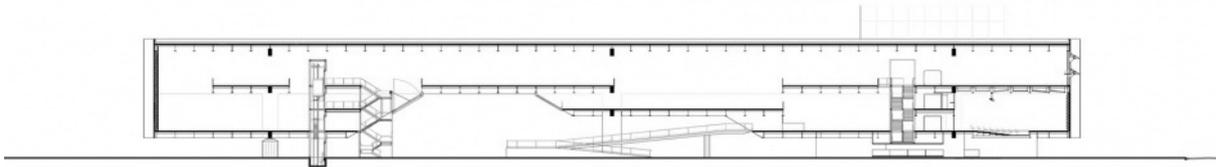


**VERTENTE PRÁTICA**  
**REFERÊNCIAS**

CAIS DAS ARTES\_ARQ. PAULO MENDES DA ROCHA  
[HTTP://WWW.METROO.COM.BR/PROJECTS/VIEW/3/0](http://www.metro.com.br/projects/view/3/0)







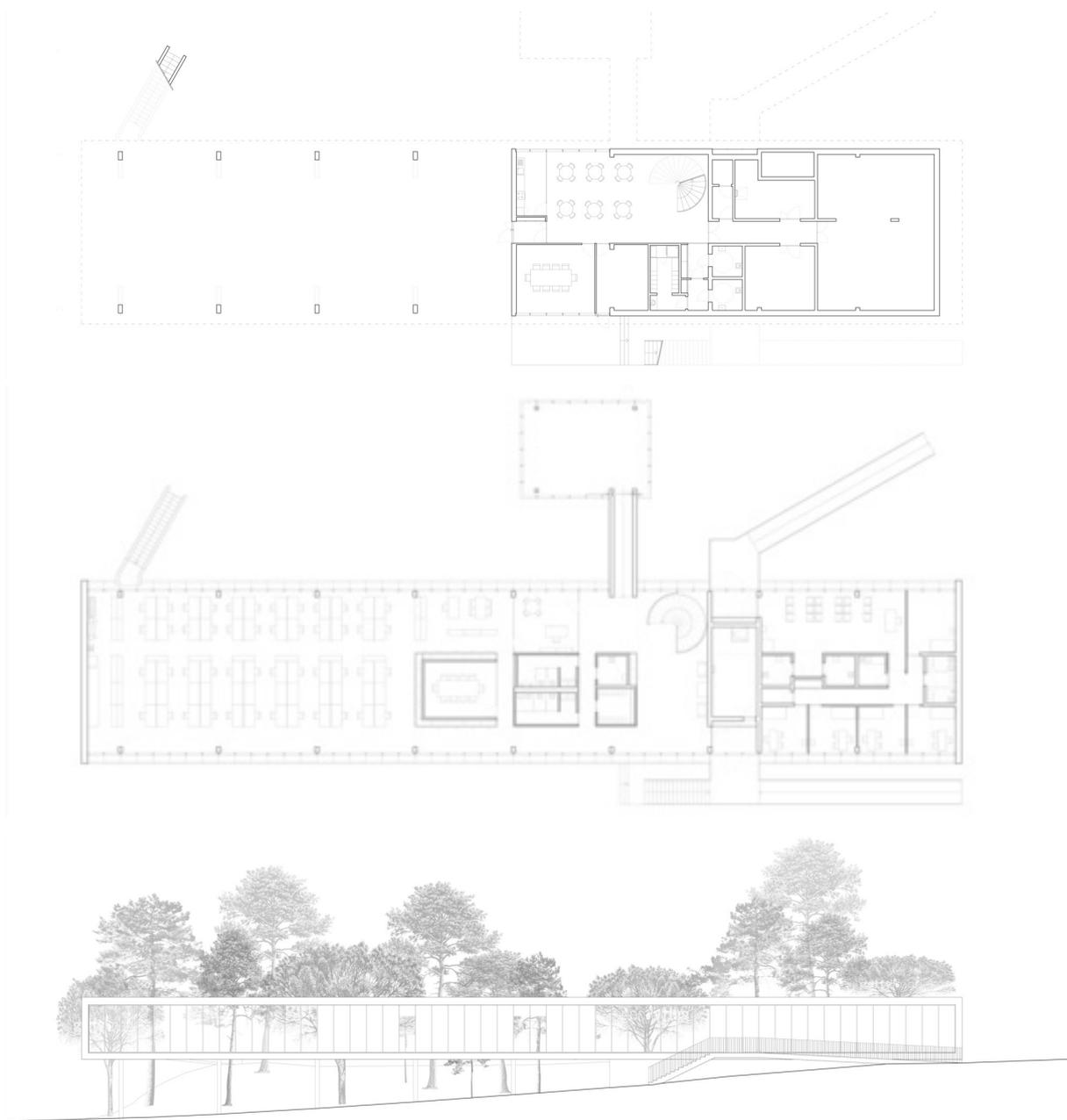


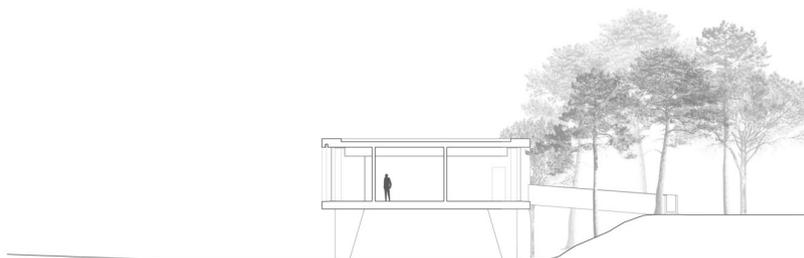
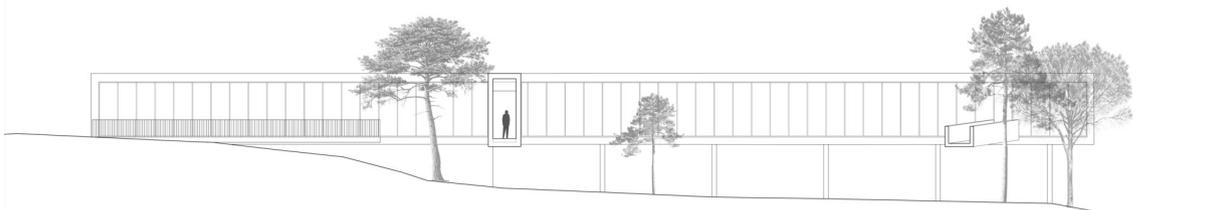
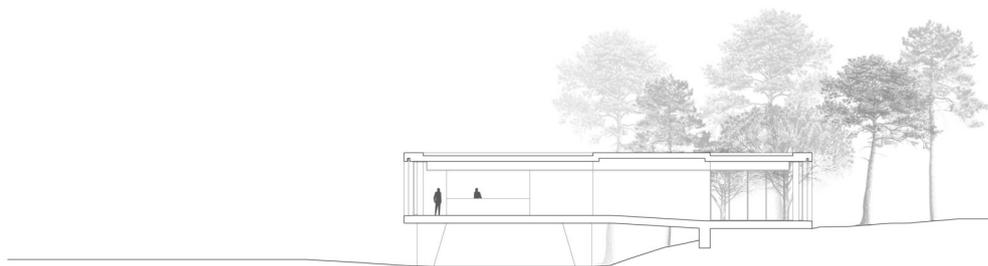
SEDE EDP EM LEIRIA\_ARQ. REGINO CRUZ

[HTTP://WWW.ARCHDAILY.COM.BR/BR/766153/EDP-RCA-NIL-REGINO-CRUZ-ARQUITECTOS](http://www.archdaily.com.br/br/766153/EDP-RCA-NIL-REGINO-CRUZ-ARQUITECTOS)



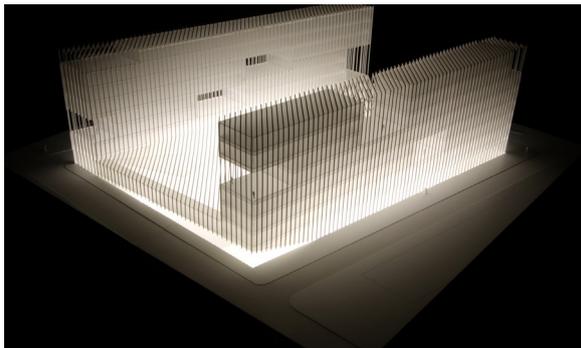


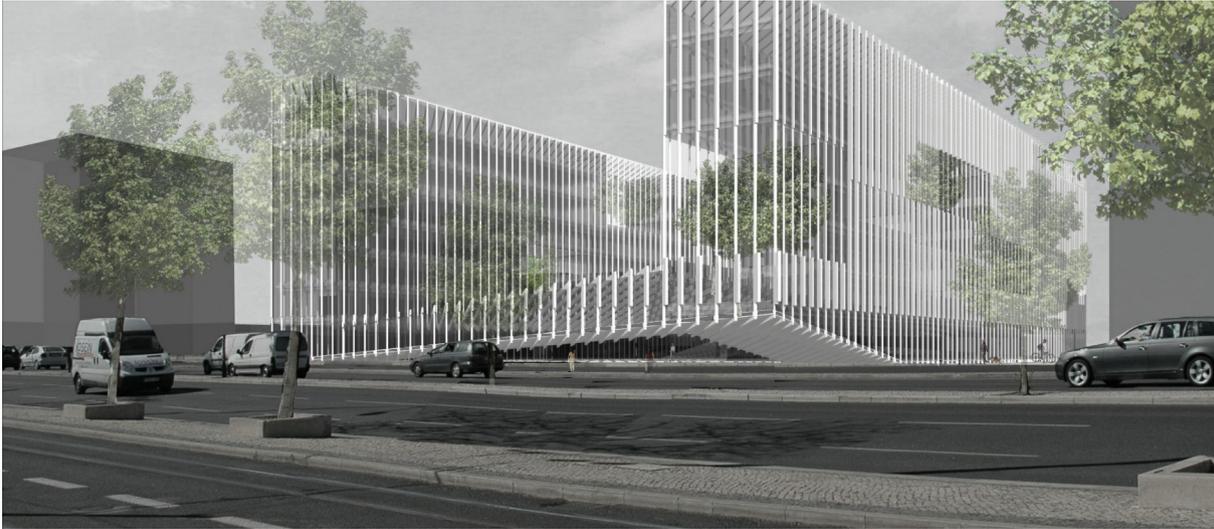




SEDE EDP EM LISBOA \_ARQ. CARRILHO DA GRAÇA

[HTTP://EXECUTIVEDIGEST.PT/2012/06/29/EDP-CONSTROI-NOVA-SEDE-A-BEIRA-RIO/](http://EXECUTIVEDIGEST.PT/2012/06/29/EDP-CONSTROI-NOVA-SEDE-A-BEIRA-RIO/)







**VERTENTE TEÓRICA**  
**MATERIAIS EMERGENTES NA ARQUITECTURA**

**VERTENTE TEÓRICA**  
**RESUMO**

A procura de novas técnicas de construção sempre existiu na Arquitetura como resultado de investigações e posteriores progressos da emergência dos materiais. Desde muito cedo que, com o avanço tecnológico, o Homem descobrira, na Natureza, diversos materiais, todavia, atualmente, já é possível fazê-los.

Os materiais emergentes derivam de nanotecnologias que permitem alcançar materiais com propriedades que tradicionalmente não detinham e responder a necessidades e desafios particulares, como problemas de higroscopicidade e/ou de eficiência energética.

Neste trabalho são abordados múltiplos materiais emergentes, que foram agrupados pelas suas diversas propriedades específicas e consequentes aplicações na Arquitetura. Propõem-se determinados casos de estudo, não edificados, para se perceber a possível inserção de novos materiais na Arquitetura, tal como se versam questões de custos e de sustentabilidade. Conclui-se que esta inserção dos materiais emergentes é possível e que esta mudará o modo, físico e mental de fazer arquitetura; no entanto, estes ainda têm um mercado que se foca na sua pouca produção.

**Palavras-chave:** materiais emergentes, nanotecnologia, construção na Arquitetura, novas propriedades na construção, custos na construção, sustentabilidade.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**ABSTRACT**

The demand for new construction techniques has always existed in architecture as a result of investigations and subsequent developments deriving from the emergence of new materials. From very early on, with technological advances, the man discovered various materials, however, nowadays it is possible to make them. Derived from nanotechnologies, these materials have new untraditional properties and are able to answer the particular needs and challenges that arise, such as hygroscopicity and / or energy efficiency problems.

In this paper several multiple emerging materials were addressed, which were grouped by their specific properties and subsequent applications in architecture. In order to study the possible insertion of new materials in architecture, addressing both issues of cost and sustainability, it is proposed a number of case studies, unbuilt. It was concluded that this insertion of emerging materials is possible and will change the physical and psychological way of doing architecture, however, their market still focuses mainly on a small production scale.

**Keywords:** emerging materials, nanotechnology, Construction in Architecture, new properties in Architecture construction, cost in Architecture construction, sustainability.

# ÍNDICE

RESUMO	125
ABSTRACT	127
ÍNDICE DE FIGURAS	130
CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA	133
BREVE SÍNTESE HISTÓRICA DOS MATERIAIS NA ARQUITETURA	137
O QUE SÃO MATERIAIS EMERGENTES	145
MATERIAIS EMERGENTES	153
RESISTÊNCIA MECÂNICA	155
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	161
MALEABILIDADE	171
SELF-HEALING	179
HIDROFÓBICOS	183
HIGROSCOPICIDADE	187
PERFORMATIVOS	191
OUTRAS APLICAÇÕES	195

A CONSTRUÇÃO DA ARQUITETURA	199
A UTILIZAÇÃO NA ARQUITETURA	203
CUSTOS	207
SUSTENTABILIDADE	213
CASOS DE ESTUDO	221
CONCLUSÃO	227
DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	231
BIBLIOGRAFIA	235
BIBLIOGRAFIA DE IMAGENS	245

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1- PALEOLÍTICO_PEDRAS DE QUARTZO E SÍLEX	137
FIG. 2- STONEHENGE_SUL DE INGLATERRA	138
FIG. 3- LOOS HOUSE_ADOLF LOOS	139
FIG. 4- EXEMPLOS DE CRUZES DE SANTO ANDRÉ EM MAQUETA	140
FIG. 5- INTERIOR DO INSURANCE BUILDING EM MUNICH	140
FIG. 6- CRYSTAL PALACE EM LONDRES	141
FIG. 7- TORRE EIFFEL EM PARIS	141
FIG. 8- RICHARD P. FEYNMAN	141
FIG. 9- NORIO TANIGUCHI	147
FIG. 10- MACHU PICCHU NO PERU	155
FIG. 11- QUAKE COLLUM	155
FIG. 12- PETER YEADON	156
FIG. 13- FAZ_PAVILHÃO DE ACHIM MENGES	162
FIG. 14- SISTEMA DE COMBUSTÃO DE PALHA	165
FIG. 15- PELÍCULA CRYSTAL CLEAR	166
FIG. 16- RICHARD LUNT	167
FIG. 17- JILL BURIAK	167

FIG. 18- EXEMPLO DE UMA APLICAÇÃO COM ARBOSKIN	174
FIG. 19- EXEMPLOS ONDE E COMO ÍTAI “MOLDA” O BETÃO	175
FIG. 20- PVC PARA “MOLDAGEM” DO BETÃO	176
FIG. 21- HYDOCERAMIC	187
FIG. 22- ”MUDANÇA” DE COR DO BETÃO	191
FIG. 23- TINTA WALLSMART	192
FIG. 24- EXEMPLOS DO USO DO LÍQUIDO RHEOLOGICAL	193
FIG. 25- CANETA 3D LIX_ ALGUNS DESENHOS	196
FIG. 26- TREEPLAST	197

**VERTENTE TEÓRICA**  
**CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA**

A Arquitetura é uma ciência que trabalha com diversas materialidades, conseguindo, a partir do mesmo espaço e de diversos materiais, várias sensações ao seu utilizador. A observação da evolução tecnológica e o potencial desenvolvimento que daí pode advir para a arquitetura, com novas sensações, novos materiais sustentáveis, facilidade na sua aplicabilidade e transporte, traduziu-se numa oportunidade de olhar para o desenvolvimento da forma de fazer arquitetura que motivou esta investigação para o estudo e a análise do tema “Materiais Emergentes na Arquitetura”. Para entender estes materiais foi feita uma intensa pesquisa com recurso a artigos científicos, livros e sites científicos.

O presente trabalho tem como objetivos estudar novos materiais que estão a surgir a partir de novas tecnologias como, por exemplo a nanotecnologia. Estes surgem, principalmente, de estudos efetuados noutras

ciências, como a engenharia de materiais, como fins de outras aplicações que não a arquitetura; por isso tornou-se relevante o estudo dos mesmos, de modo a perceber a sua aplicação e inserção na Arquitetura.

Para isso foi necessária, uma breve apresentação da história dos materiais; uma definição de materiais emergentes; uma divisão dos materiais segundo uma lógica de propriedades e de aplicações na arquitetura: resistência mecânica, eficiência energética, maleabilidade, self-assembly, hidrofobia, higroscopicidade, performativos e outras aplicações; e um estudo mais aprofundado sobre a sua construção na arquitetura a nível de custos e de sustentabilidade.

Por fim, foram “edificados” casos de estudo recorrendo a materiais emergentes, sem exagerar na sua aplicação; um caso de estudo criado de raiz, uma situação de reabilitação e uma “edificação” recorrendo a tecnologias 3D.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**BREVE SÍNTESE HISTÓRICA DOS MATERIAS NA ARQUITETURA**



Fig. 1\_Paleolítico\_Pedras de Quartzo e Sílex

A relação entre os materiais e o Homem existe desde sempre. Foi com a utilização dos materiais que o Ser Humano descobriu a maneira de se defender dos predadores e de capturar as suas presas. Começou por utilizar materiais conforme os encontrava, na sua forma original, com o intuito de construir o seu primeiro abrigo e a primeira arma de proteção. À medida que começava a entender os materiais e o seu potencial, começou a transformá-los para melhorar as suas características e os seus desempenhos; por exemplo, a pedra (Fig.1), foi transformada em instrumentos de corte, armas para “caçadas” e para defesa própria, dominando assim um material “duro, afiado, mais durável do que qualquer outro material que pudesse ser encontrado na natureza”<sup>1</sup> (Ashby, Ferreira, & Schodek, 2009, p. 17).

Com o decorrer do tempo, o Homem foi descobrindo novos materiais, nos seus vários estados (sólido, líquido e

---

1 Tradução livre.

gasoso), de forma a conseguir o máximo partido dos mesmos e proporcionar uma maior segurança e bem-estar. Posto isto, a história do Homem está intimamente relacionada com a história dos materiais que ele fora dominando, de tal modo que as épocas são nomeadas referindo o material que melhor dominava, entre elas: “Idade da Pedra”, “Idade do Cobre” e “Idade do Ferro”.

“Além do barro e da madeira, a pedra na sua forma natural foi um dos primeiros materiais a ser utilizado na construção” (Hegger, Auch-schwelk, Fuchs, & Rosenkranz, 2006, p. 38).

Numa primeira construção, com pedra trabalhada, temos o exemplo dos famosos círculos de pedra, conhecidos por “Stonehenge” no Sul de Inglaterra (Fig.2), datados de 2000 a.C.. A forma como a Arquitetura tem utilizado este material ao longo dos tempos tem sido variada. “Os gregos montavam as pedras sem argamassa, juntando-as de modo a criarem elementos arquitetónicos, tais como plintos, colunas, arquivadas e frisos” (Hegger, Auch-schwelk,



Fig. 2\_Stonehenge\_Sul de Inglaterra

Fuchs, & Rosenkranz, 2006, p. 38).

As várias culturas e as várias épocas têm sido marcadas pela forma como a pedra era utilizada nas construções. Em tempos mais modernos, a pedra é também utilizada como revestimento, visível na “Loos House” de Adolf Loos ( Fig.3) (Hegger, Auch-schwelk, Fuchs, & Rosenkranz, 2006).

Outro material que tem sido utilizado desde os primórdios da existência do Homem é a madeira, transversal à história do Homem. Esta está disponível em quase todo o planeta e, sendo fácil de trabalhar, o Homem utilizou-a para fazer o seu primeiro abrigo. Com o decorrer do tempo, a madeira foi utilizada pelas civilizações de acordo com as suas características e as necessidades proporcionadas pelo seu habitat. Fatores como o clima ou os desastres naturais influenciaram as técnicas e o uso da madeira.

Atualmente, podemos ver a madeira nas várias vertentes da Arquitetura, desde a estrutura, tal como a



Fig. 3\_Loos House\_Adolf Loos

conhecida técnica pombalina<sup>2</sup>, Cruzes de Santo André<sup>3</sup> (Fig.4), até ao revestimento interior do Insurance Building em Munich de Baumschlager und Eberle (Fig.5).

Anos mais tarde, o Homem passa a dominar o metal descobrindo processos rápidos e baratos para a fabricação do aço. A partir do séc. XIX, o metal passa a ser utilizado como estrutura, dado às suas capacidades de resistência à tração e à compressão. A sua relação peso-resistência permitiu a existência de estruturas de grandes vãos e/ou efémeras.



Fig. 4 \_Exemplos de Cruzes de Santo André em maqueta

---

2 “Os edifícios Pombalinos representam um marco importante na engenharia sísmica porque apesar de aparentarem ser de alvenaria, são constituídos por uma estrutura tridimensional de madeira no seu interior (Gaiola Pombalina), que não é visível por se encontrar embudada nas paredes de alvenaria, mas que permite a absorção de parte das acções e deslocamentos quando da ocorrência de um sismo” (Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas, 2005).

3 “A armação de madeira utilizada nas paredes mistas dos edifícios da Baixa pombalina, a gaiola ou esqueleto, é constituída por um elevado número de peças verticais, horizontais e inclinadas, devidamente ligadas entre si, formando as cruces de Santo André que constituem um sistema sólido e com grande estabilidade” (Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas, 2005).

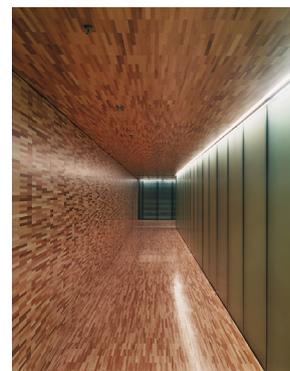


Fig. 5 \_Interior do Insurance Building em Munich

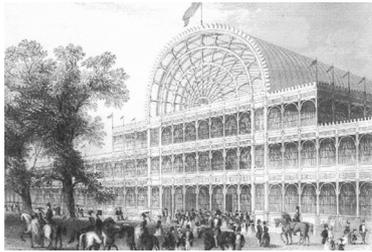


Fig. 6\_Crystal Palace em Londres



Fig. 7\_Torre Eiffel em Paris

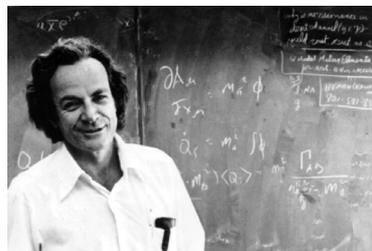


Fig. 8\_Richard P. Feynman

Dois exemplos deste tipo de estrutura ou construção são o “Crystal Palace” em Londres, de Joseph Paxton (Fig.6), e a Torre Eiffel em Paris de Gustav Eiffel (Fig.7).

“No início do séc. XX, a fácil moldagem dos metais foi usada com grande ênfase pelos seguidores da Arte Nova” (Hegger, Auch-schwelk, Fuchs, & Rosenkranz, 2006, p. 76).

A Arquitetura sempre esteve em comunhão tanto com o Homem como com os materiais que este ia dominando desde a simples cabana de madeira até à enorme Torre Eiffel, construída com treliças de ferro. Inúmeros materiais foram descobertos, trabalhados e inventados desde a “Idade da Pedra”. O silício, foi um exemplo disso ao ser utilizado para fins de transístor, os biomateriais, que nos dias que correm dependem muito da nanotecnologia e, por fim, os nanomateriais, conceito introduzido na ciência por Richard P. Feynman (Fig.8) (United States National Nanotechnology Initiative). Com o seu contributo e posteriores desenvolvimentos tecnológicos, hoje fala-

se em idade do polímero em comunhão com a idade da nanotecnologia (Ashby, Ferreira, & Schodek, 2009).



**VERTENTE TEÓRICA**  
**O QUE SÃO MATERIAIS EMERGENTES**

Materiais emergentes podem ser definidos como materiais que surgem graças a diversos progressos e a estudos científicos. Uns são desenvolvidos a partir de materiais “antigos” e outros são criados de raiz, através do manuseamento dos seus átomos ou por processos químicos e físicos, dando assim origem a materiais com características e/ou propriedades que permitem novas funcionalidades ou novas aplicabilidades.

A evolução tecnológica tem possibilitado o aparecimento e o desenvolvimento destes materiais emergentes. Certos materiais, com o desenvolvimento tecnológico, emergem com novas aplicabilidades e/ou funções, mais fáceis de trabalhar, de transportar e mais económicos, outros são completamente modificados. Uma das áreas que tem evoluído com estes resultados nas várias

valências científicas, é a Nanotecnologia.

Em Dezembro de 1959, o físico Richard Feynman, deu uma palestra no American Physical Society, em Caltech, na Califórnia, com o nome de “there’s plenty of room at the bottom” (Existe muito espaço lá em baixo). Nesta conferência nasce o conceito e a ideia da nanoescala e, conseqüentemente, a nano ciência e a nanotecnologia. Muito antes de qualquer termo “nano”, Feynman avançou com a ideia de que poderíamos e deveríamos manipular o átomo individualmente, considerando um número de ramificações de uma capacidade geral para manipular a matéria em escala atômica. Ele estava particularmente interessado nas possibilidades que surgiriam em circuitos computacionais e em microscópios que permitissem ver as coisas numa escala muito menor do que é possível ver com microscópios eletrônicos. Sugeriu também que seria possível construir máquinas de uma escala “nano” que possibilitassem o manuseamento do átomo de modo pretendido. Estava lançado o desafio para a ciência controlar

qualquer material à escala dos átomos e da molécula.

Anos mais tarde, o termo nanotecnologia foi divulgado pelo professor Norio Taniguchi (Fig.9), no entanto, a nanotecnologia só começou verdadeiramente quando se conseguiu “ver” um átomo individual através de um microscópio (United States National Nanotechnology Initiative).

A criação de processos científicos, com o desenvolvimento microscópico, permitiu a visualização das partículas nestas novas dimensões.

O mais surpreendente neste mundo da nanotecnologia é que os materiais construídos nesta escala apresentam propriedades físicas e químicas bastante diferentes.

“O mundo nano não é uma coisa nova, artificial, criada pelo Homem. Ele está na natureza e em nós mesmos, nas biomoléculas que promovem a vida. Ele está no arco-íris, na asa da borboleta, no brilho das pedras e do asfalto, e em tudo que ingerimos, do leite ao café, e muita coisa que respiramos” (Siqueira, 2009), por isso, “como seres



Fig. 9\_Norio Taniguchi

humanos que somos temos tentado entender e controlar a natureza”<sup>4</sup> (Ashby, Ferreira, & Schodek, 2009, p. 23).

Diversos fenômenos da natureza têm inspirado pesquisas em nanotecnologia como, por exemplo, as características das patas das lagartixas que andam no teto sem cair, ou no mundo das cores, pois as ondas de luz têm dimensões nanométricas.

“Recordemos então, alguns dados, para melhor percebermos os valores e as escalas de que falamos. Como sabemos o metro tem 100 centímetros, ou mil milímetros, ou um milhão de micrómetros, ou um bilhão de nanômetros. Por outras palavras, um nanômetro equivale a um bilionésimo do metro. Vale a pena referir que um nanômetro pode comportar até sete átomos alinhados e que um nanotubo de carbono é 100 mil vezes mais fino que um fio de cabelo. Em termos de conceito, a nanotecnologia trabalha com partículas ou objetos que têm entre dez e 100 nanômetros” (Siqueira, 2009).

---

4 Tradução livre.

Anos mais tarde, surgem desenvolvimentos em diversas áreas: física, química, biologia e engenharia. Nesta última, destaca-se principalmente a engenharia dos materiais, que comprovam a principal ideia de Feynman, a possibilidade de manipulação da matéria à escala do nanómetro. Esta manipulação opera de duas maneiras, “Bottom-up” e “Top-down”, a primeira onde os materiais são concebidos através do domínio dos seus átomos e moléculas e a segunda que passa por reduzir estruturas de grande porte para a nanoescala, ou seja, sem controlar, ao nível do átomo, o material (Sanchez & Sobolev, 2010). Fazendo uma metáfora, pode-se pensar que o bottom-up seria construir um barco desde o início, montando cada peça a seu tempo, em contrapartida, o top-down passa por esculpir o barco de um bloco de madeira inicial. Ambas chegam ao barco, mas por caminhos diferentes.

É precisamente nesta tentativa de manipulação dos materiais, à nanoescala, que pode existir uma simbiose com a arquitetura, através da criação de nanomateriais e,

consequentemente, de novas aplicações. Assim, quando o arquiteto projetar terá obrigatoriamente que ter em conta estas novas potencialidades dos materiais.

“O modo como se faz arquitetura, tanto a nível intelectual, como fisicamente, está perto de uma mudança significativa...um romance convergente entre a computação e os materiais está prestes a surgir, trazendo processos virtuais de design computacional ao modo físico da arquitetura”<sup>5</sup> (Menges, *Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design*, 2012, p. 14).

---

5 Tradução livre.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**MATERIAIS EMERGENTES**

Refram-se agora alguns materiais emergentes manipulados pelo Homem, em bottom-up ou top-down. O capítulo está dividido em vários subcapítulos, que retratam as inúmeras propriedades dos materiais apresentados mediante a aplicação da materialidade na Arquitetura.

Atualmente a tecnologia apoderou-se da vida do Homem. Viver sem telefone ou computador é já praticamente impossível. A dependência da tecnologia é, quer queiramos quer não, uma realidade. É certo que a tecnologia terá influenciado a maneira como o Ser Humano vive e naturalmente, acredita-se que, na Arquitetura, vai permitir atingirem-se grandes feitos através de melhores propriedades e aplicações, dos materiais tradicionais na construção.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**RESISTÊNCIA MECÂNICA**



Fig. 10\_Machu Picchu no Peru



Fig. 11\_Quake Collum

Entende-se como resistência mecânica pela capacidade de os materiais resistirem tanto à tração como à compressão.

A construção de cantaria é uma conhecida técnica utilizada por exemplo, na construção de Machu Picchu<sup>6</sup> (Fig.10), que consiste no corte da pedra assim como na sua montagem. Esta técnica pode, dependendo de quem constrói, usar argamassas<sup>7</sup> de junta ou dispensá-las, se o espaço entre as pedras for construído com juntas de pequenas dimensões. Inspirados nesta técnica construtiva antiga, os arquitetos californianos, Emerging Objects inventaram a *Quake Column* (Fig. 11). Esta coluna é construída de baixo para cima

<sup>6</sup> Em Machu picchu foi utilizada, pelo império Incas, a conhecida técnica de *ashlar*. Os incas eram especialistas no corte e na montagem das pedras. Este corte e a montagem cuidada permitia com que o espaço entre as pedras diminuísse e que, por isso, não necessitava de argamassa na sua construção. A ligação entre as pedras era tão apertada que minimizava as vibrações causadas pelos correntes terremotos (Materia Exhibitions B.V., 2014h).

<sup>7</sup> A argamassa de junta tem o crucial papel de garantir uma boa distribuição de forças evitando a concentração que resulta da irregularidade da superfície das pedras talhadas.

com blocos de betão muito bem organizados sendo que, cada bloco, tem um lugar específico na coluna, de modo, a otimizar a resistência da coluna a um terramoto. Os blocos são ocos e parcialmente impressos por uma impressora 3D, conseguindo assim uma harmoniosa relação peso versus resistência e oferecendo uma maior resistência a terremotos face ao betão armado (Materia Exhibitions B.V., 2014h).

O caso dos nanotubos é também um exemplo de resistência mecânica, onde transformar as propriedades, com recurso às novas tecnologias, vai permitir mudar o modo de fazer Arquitetura e a sua construção, isto é, mudar a indústria arquitetónica (Menges, *Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design*, 2012, p. 14). Estes nanotubos de carbono são nanomateriais 100 vezes mais resistentes do que o aço devido à “perfeição” molecular conseguida, conforme é explicado por Peter Yeadon<sup>8</sup> (Fig.12). A sua “perfeição” molecular permite ao material ter



Fig. 12\_Peter Yeadon

---

<sup>8</sup> In (Lehman, 2009) Cit. por Yeadon, Peter. *Year 2050: Cities in the Age of Nanotechnology*, papel Ano 2050: Cidades do Age of Nanotechnology.

várias aplicações, podendo ser isolante, semicondutor ou condutor de eletricidade (Lehman, 2009).

Nem todos os materiais são assim tão resistentes. O vidro, um dos materiais mais utilizados recentemente, mesmo depois do aparecimento da técnica utilizada no palácio de cristal em Londres (destruído em 1936), apresenta um problema, a sua fragilidade a forças externas. Quando parte, estilhaça-se tornando-se perigoso, contudo, existem técnicas de produção para que isso não aconteça, evitando assim o estilhaçar do vidro. Na universidade McGill, no Canadá, com recurso à nanotecnologia, foi desenvolvido um vidro que não se parte. Quando submetido a forças externas dobra, acompanhando a direção da força (Materia Exhibitions B.V., 2014q). Este estudo teve por base uma ideia obtida através da análise do interior das conchas. A fabricação deste material passa por aumentar a dureza das lâminas de vidro, utilizando tecnologia laser, gravando padrões semelhantes aos das conchas<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> O interior de conchas (a parte brilhante) são cobertas com um grande número de ranhuras microscópicas 3D.

As nano modificações ou “nano-engineering” permite aumentar as potencialidades, neste caso da resistência, de um material. Outro exemplo é a nano modificação do cimento, que nesta altura, é um campo muito trabalhado, possibilitando a junção de novos aditivos como super plastificantes e nano partículas, que visam reforçar o próprio cimento, aumentando a resistência do betão (Sanchez & Sobolev, 2010). A Engenharia de materiais à escala nano pode acontecer em três estados físicos diferentes (líquido, sólido e entre estados<sup>10</sup>) na sua conceção.

“Metodologias de junção e de corte, separação de moléculas, permitem a manipulação direta da estrutura fundamental das fases do cimento. Estas técnicas podem ser usadas de forma eficaz numa abordagem “Bottom-up” para controlar propriedades concretas, desempenhos e processos de degradação para obter um betão mais

---

10 Cit. por Garboczi EJ. Concrete nanoscience and nanotechnology: Definitions and applications. In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic; 2009. p. 81–8.

resistente e providenciar um material com novas funções e propriedades<sup>11</sup>”; Florence Sanches, et al, dizem ainda que “várias mudanças serão necessárias para resolver e realizar todo o seu potencial, incluindo a própria dispersão dos aditivos nano, a intensificação dos resultados laboratoriais e a implementação em larga escala e o baixar dos rácios custo/benefício”<sup>12</sup> (Sanchez & Sobolev, 2010, p. 2064).

---

11 Tradução Livre.

12 Idem.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Uma grande fonte de energia natural, como sabemos, é o Sol. Materiais nanotecnológicos estão a ser desenvolvidos para a aproveitar. Para tal, é importante reforçar a existência de processos de convecção e condução de calor, ventos, orientação e outros processos físicos, assim como materiais que visam poupar energias (tais como eletricidade e gás), para aquecer ou arrefecer o interior de uma casa.

Tomemos como exemplo o comportamento higroscópico dos cones das plantas coníferas. Estes, suportam as estruturas reprodutivas das Pinófitas e permitem, no processo reprodutivo, observar um fenómeno. As sementes que estão no interior dos cones são libertadas, fazendo com que eles se abram e, posteriormente, se fechem (Menges & Reichert, *Material Capacity: Embedded Responsiveness*, 2012). A este movimento de enorme versatilidade, está vinculada uma capacidade de controlo de energia, que é há muito, procurado pela Arquitetura na

sua busca de comunhão total e a interação com o ambiente.

O Departamento de design de forma e Materialização (HFG Offenbach), juntamente com o Instituto de Design Computacional (CID) da Universidade de Stuttgart, desenvolveram materiais bifásicos, tendo por base esta planta. O objetivo passou por desenvolver, criar, uma “pele” estruturada em pirâmides hexagonais (Fig.13), que naturalmente, se abriam ou fechavam consoante a humidade do ar. Para tal, agregou-se um composto sintético a uma madeira, para atingir este objetivo (Menges & Reichert, *Material Capacity: Embedded Responsiveness*, 2012).

A mudança dimensional da madeira é diretamente proporcional às mudanças de humidade relativa presentes no ar, “abrindo-se quando seca”<sup>13</sup>, deixando entrar o sol e “fechando-se quando humedecida”<sup>14</sup>, protegendo o interior e poupando energias externas, como ares-condicionados ou, no limite, a energia libertada por uma pessoa a fechar



Fig. 13\_FAZ\_Pavilhão de Achim Menges

---

13 Tradução livre referenciado em Menges & Reichert, *Material Capacity: Embedded Responsiveness*, 2012, p. 54.

14 Idem.

ou abrir uma janela da casa.

Com estes avanços, o futuro passará pela Arquitetura ativada pelo ambiente exterior, sistema nomeado de “climate-responsive architecture” (Menges & Reichert, *Material Capacity: Embedded Responsiveness*, 2012). Este sistema e processos têm como grande objetivo, economizar a dissipação de energia e reduzir as emissões poluentes para o planeta Terra. As preocupações ambientais de hoje, no ecossistema da casa, passam essencialmente por reduzir problemas de condução térmica entre exterior/interior. Os cientistas acreditam que vão conseguir reduzir estes problemas com os (eco) biomateriais, afinal “o que é que pode ser melhor que simplesmente obter da Natureza os seus próprios materiais de construção?”<sup>15</sup> (Materia Exhibitions B.V., 2013a). Os (eco) Biomateriais têm o potencial de reduzir o uso de energia e dos gases poluentes ao contrário dos combustíveis fósseis devido ao seu modo de “fabricação”.

---

15 Tradução livre.

Habitualmente, chamamos de convencionais os materiais que têm origem animal (como por exemplo a pele, a seda e a lã) ou vegetal (como o papel e a madeira), mineral (como a pedra, argila), os (eco) biomateriais e os biorenováveis, embora sujeitos a constantes pesquisas e desenvolvimentos, são extraídos, principalmente, através de processos aperfeiçoados biologicamente ou a partir de materiais de origem biológica, que se nomeiam de emergentes (como o ácido polilático, extraído da beterraba, utilizado no fabrico de plásticos) (Materia Exhibitions B.V., 2014f).

Um projeto da Universidade da Wasesa, no Japão, criou uma casa - “A Recipe to Live” - onde as paredes especiais, não só isolam o calor como se auto aquecem. Feitas de “palha de combustão” (Materia Exhibitions B.V., 2014o), as paredes, transmitem o calor necessário, continuamente para o interior, oferecendo ao edifício uma temperatura confortável e constante. Normalmente, um processo de fermentação liberta muitos gases que, neste

caso, não são sentidos pelos utilizadores no interior da casa.

Assim, são resolvidos os problemas de condução térmica do interior para o exterior e vice-versa. A estrutura destas paredes é feita de madeira que, no seu interior, contém caixas de acrílico com palha. A fachada exterior é finalizada com um plástico (Fig.14). A palha é introduzida dentro das caixas de acrílico, no Verão, quando ainda está verde, para que a humidade da palha seja libertada à medida que os raios solares vão incidindo nas paredes. Esta libertação de humidade, nesta altura do ano, não só “ajuda a manter o edifício fresco”<sup>16</sup> (Materia Exhibitions B.V., 2014o) como ajuda ao não apodrecimento da palha de modo a, quando chegamos ao Inverno, ela esteja pronta para a sua fermentação natural e a sua consequente libertação de calor, aquecendo o ambiente interior (Materia Exhibitions B.V., 2014o). A recolha e aproveitamento da energia solar, com a utilização dos materiais emergentes, é agora efetuada com mais eficiência, possibilitando ganhos, quer financeiros,



Fig. 14\_Sistema de combustão de palha

---

16 Tradução livre.

quer energéticos.

Ao longo dos tempos, o Ser Humano foi entendendo que nem sempre podia ter esta troca de energias de forma natural. Aquecer os espaços com máquinas dispendiosas foi criando poluição e gastos energéticos. A evolução tecnológica e os novos materiais permitiram uma maior eficiência na recolha da energia solar e um aumento do rendimento dos painéis solares, melhorando a sua estética e a sua aplicação. Tomemos como exemplo as células solares, inventadas pela universidade do estado de Michigan, denominadas como “Crystal clear”<sup>17</sup> (Fig.15). Estas células são transparentes e, por isso, a sua aplicação torna-se muito desejável, podendo ter aplicações em fachadas de vidro, ecrãs de telefones ou até numa janela. A sua transparência, é conseguida através de um método particular de absorver a energia solar desenvolvida pelo Richard Lunt (Materia Exhibitions B.V., 2014c).

<sup>17</sup> Um revestimento de nano moléculas capazes de absorver comprimentos de onda da luz solar, raios infravermelhos. Estes raios são seguidamente levados para a extremidade do material e convertidos em eletricidade por tiras finas de células solares fotovoltaicas.

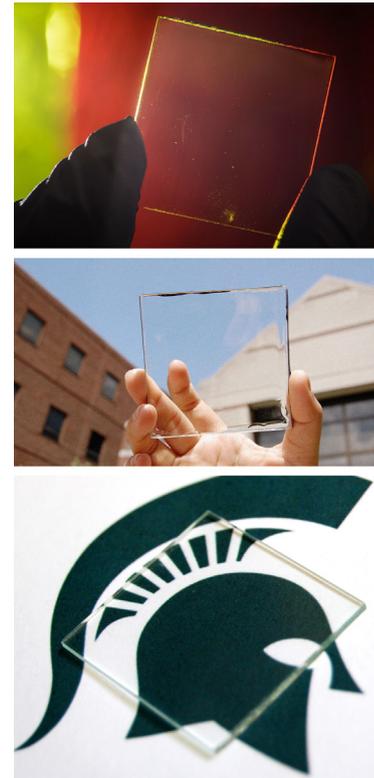


Fig. 15\_Película Crystal Clear

“Como os materiais não absorvem nem emitem ‘luz’ no espectro visível, eles parecem excepcionalmente transparentes ao olho humano”<sup>18</sup>, segundo Richard Lunt (Fig.16).



Fig. 16\_Richard Lunt

Com o desenvolvimento da tecnologia, mais especificamente da nanotecnologia, outros tipos de células solares começam a aparecer, como é o caso de uma tinta sintética, atualmente desenvolvida para ser aplicada em spray. Grafiteiros poderão, em breve, tingir as fachadas e trabalhar em conjunto com os técnicos de energias renováveis, designers e arquitetos, de modo a contribuir para um mundo de energias renováveis (Materia Exhibitions B.V., 2014c).



Fig. 17\_Jill Buriak

Outra descoberta foi realizada pela Professora de química da Universidade de Alberta, em Edmonton, Jill Buriak (Fig. 17) - nano partículas de fosforeto de zinco que podem ser dissolvidas em tinta, sendo esta capaz de absorver a energia fornecida pela luz (radiação), transformando-a em

---

18 Tradução livre.

eletricidade. Esta técnica ainda não é usada pela indústria de células solares. “Quando a tinta é projetada numa superfície, seca, formando uma camada muito fina, tipo película que reage à luz”<sup>19</sup> (Materia Exhibitions B.V., 2013f), apresenta vantagens face às células contemporâneas. O facto de não necessitar de silício (um dos materiais mais caros na construção de painéis solares) é uma das suas vantagens, para a investigadora. No entanto, o painel solar requer o conhecimento de um técnico na sua montagem, devido à dificuldade de se transportar dado ao seu peso considerável necessitando, por vezes, de reforços de telhados. Esta afirmação feita pela Buriak, faz-nos acreditar que esta tinta spray pode ser a revolução para a diminuição dos custos no aproveitamento da energia solar, nos edifícios, como também a sua fácil aplicação e introdução na Arquitetura. Esta tinta, vem contrariar um uso cuidado e atento por parte dos arquitetos, relativamente ao paradigma do uso do painel solar. Muitos dos arquitetos de hoje, diversas vezes não

---

19 Tradução Livre.

utilizam estas tecnologias por esteticamente não servirem o estilo contemporâneo. Quando as utilizam, tentam esconder ao máximo os tradicionais painéis solares.

A evolução na indústria dos painéis solares, tem sido a diminuição de custos de produção e o aumento da sua eficiência. Na Universidade Tecnológica de Nanyang, em Singapura, descobriu-se um nanomaterial - Perovskite - que pode revolucionar a indústria de células solares. Trata-se de um nano-híbrido (resultado da combinação de nanomateriais orgânicos e inorgânicos), que vem reduzir os custos de produção até cinco vezes e permitir uma maior eficiência que as “thin-film solar cells” atuais (Materia Exhibitions B.V., 2013b). Com este material, imaginam-se novas aplicações de design de painéis solares na Arquitetura, como por exemplo, painéis curvos em fachadas<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> Quando os elétrons são excitados pela luz solar recebida viajam relativamente longe e por isso existe uma grande possibilidade das células solares serem mais espessas pois, permite-lhes absorver mais luz e, portanto, gerar mais energia. Os pesquisadores adiantam que os painéis solares leves e flexíveis podem ser construídos em substratos de plástico conduzindo a um processo de fabricação muito mais barato. (Materia Exhibitions B.V., 2013b).

**VERTENTE TEÓRICA**  
**MALEABILIDADE**

A introdução de novas capacidades nos materiais, através de criações obtidas com as novas tecnologias, nomeadamente a nanotecnologia, tornam esses materiais “maleáveis” na sua utilização e/ou aplicabilidade.

Esta capacidade que alguns materiais têm de se moldar a uma nova forma, após a sua modificação, dá-se o nome de “self-assembling”. Esta competência permite desenvolvimentos nos sistemas de materiais sensíveis ao fornecimento de energia externa sem qualquer tipo de controle eletrónico ou energia mecânica (Menges & Reichert, *Material Capacity: Embedded Responsiveness*, 2012).

Na Universidade de Colorado Boulder foi desenvolvida uma quarta dimensão à tecnologia de impressão. A interação ambiental com a arquitetura é, cada vez mais, entendida como uma característica crítica da arquitetura performativa (Menges & Reichert, *Material*

Capacity: Embedded Responsiveness, 2012).

O professor associado de engenharia mecânica da CU-Boulder, H. Jerry Qi e a sua equipa, juntamente com Martin L. Dunn, da Universidade de Singapura de Tecnologia e Design, desenvolveram e testaram um método de impressão 4D. Os investigadores anexaram à impressão 3D do material final, a capacidade de se auto-transformar, possibilitando que o material assumira novas formas. “Neste trabalho, a configuração inicial é criada em impressão 3D, de seguida, com programação da memória da forma das fibras, cria uma configuração dependente do tempo - aspeto 4D”<sup>21</sup> (University of Colorado Boulder, 2013). “O segredo da utilização de fibras de polímeros, com memória de forma, permitindo gerar as alterações desejadas do material compósito é a maneira como a Arquitetura das fibras é concebida, incluindo a sua orientação, localização ou outros fatores”<sup>22</sup>, segundo Dun, ex-membro da universidade do Colorado Boulder (University of Colorado Boulder, 2013).

---

21 Tradução livre.

22 Idem.

No MIT, no laboratório de self-assembling, foram desenvolvidos materiais à base de fibras de madeira ou carbono, capazes de se auto-transformarem e auto-montarem. Este self-assembling permite-nos imaginar uma menor utilização de chaves de fendas, parafusos e ferramentas de montagem. Materiais com esta tecnologia são criados para responder a vários tipos de finalidades. A base da teoria do self-assembling, passa pela predefinição do material, antes da sua conceção, através da programação das nanofibras que também compõem o material. Estas nanofibras podem ser ativadas e desativadas através de valores de humidade, temperatura do ar e de energias fornecidas ao material tal como, a incidência da luz solar. Conhecidos como materiais programáveis, estes materiais são impressos em 4D, utilizando nanorobôs na sua composição, que dão informação ao material quando se deve dobrar e/ou transformar (Materia Exhibitions B.V., 2014n). Quando estes materiais são expostos a alterações de temperatura, humidade, luz ou outros fenómenos,

transformam-se. Podemos, por exemplo, obter uma cadeira quando uma placa de madeira é sujeita a uma variação de humidade. Esta tecnologia está a ser desenvolvida para aplicar em todos os tipos de materiais.

Uma pesquisa na Universidade de Estugarda combina estas possibilidades da auto modelação com a reciclagem de materiais. ArboSkin (Fig.18) foi um material concebido com a reciclagem de 90% de bioplásticos/polímeros, termomoldável com finalidades de revestimento de fachadas, que foi concebido, principalmente, a partir de recursos renováveis. É um material que além de resistir aos raios ultravioleta pode ser perfurado, laminado, cortado a laser e até mesmo fresado por uma CNC: “the design is based on a triangular net composed of mesh elements of varying sizes. Each element is made of bio-plastic pyramids, or panels with thermo-formed relief, which are coupled together” (Materia Exhibitions B.V., 2013g).

As tecnologias utilizadas, até agora, no desenvolvimento de um dos materiais mais utilizados

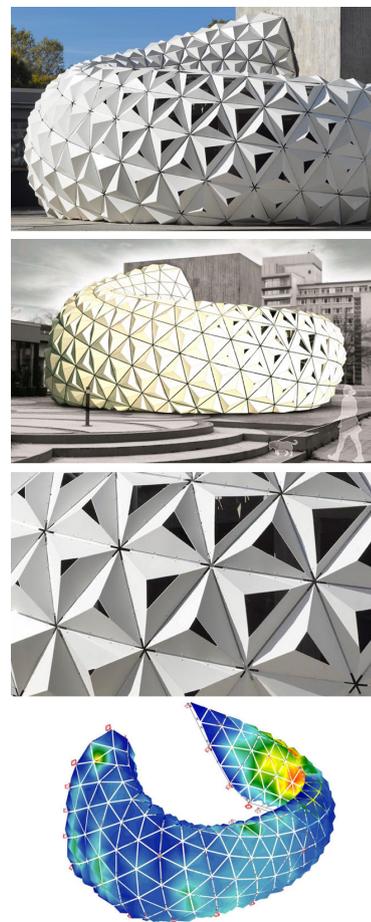


Fig. 18\_ Exemplo de uma aplicação com Arboskin



Fig. 19 Exemplos onde e como Itai “molda” o betão

na construção moderna, o betão, tem permitido quase exclusivamente o seu aumento de resistência (Sanchez & Sobolev, 2010). Outras características de trabalho deste material são agora criadas e desenvolvidas, fazendo-nos acreditar que o betão é um material bastante maleável. Ser “frio e rígido”, visualmente, são atributos que encontramos no betão, contudo, Itai Bar-on, designer israelita, trabalha com o betão explorando novas formas visuais. Este designer molda o betão conseguindo assim com que este se combine com várias situações (Fig.19). Itai consegue dar ao betão um aspeto visualmente confortável e harmonioso (deixando a ideia de que não é betão), moldando-o para seguir a sua função, tais como candeeiros e bancos (Materia Exhibitions B.V., 2013d).

O estúdio de Remy & Veenhuizen iniciou uma investigação para conseguir outro tipo de moldes e cofragens, para alcançar uma flexibilidade visual do betão. De acordo com Remy & Veenhuizen, “Concrete is rather like water”, o betão pode ser moldado como se pretender até secar. Para

executar as formas pretendidas com o betão foi utilizado PVC à prova de água (Fig.20). Concluíram que o PVC era o melhor material para servir de molde dado ao seu nível de elasticidade e de resistência (Materia Exhibitions B.V., 2014b). O betão passa assim a ser um material que pode ser utilizado independentemente da forma do objeto final.

O barro (argila), tal como o betão, é um material moldável quando ainda não está seco. Fenella Elms é uma artista que desenvolveu estudos na utilização da argila, explorando-a<sup>23</sup> (Materia Exhibitions B.V., 2014m). No processo desenvolvido pela artista, são adicionadas fibras que tornam o barro mais forte na sua moldagem. O barro ainda é submetido a altas temperaturas para melhorar o seu brilho e, por consequência do fogo, ganha cores entusiásticas e translucidez (Materia Exhibitions B.V., 2014m).

---

23 Fenella Elms trabalha principalmente com deslizamento. Esta forma de trabalhar com argila consiste em encher placas feitas de gesso com um líquido cremoso ideal para esculpir. O material é transformado em folhas que podem ser cortadas e rasgadas. Como um líquido, o deslizamento preenche todas as partes.



Fig. 20\_PVC para “moldagem” do betão



**VERTENTE TEÓRICA**  
**SELF-HEALING**

Self-healing, é a capacidade que os materiais, providos de tecnologia específica, têm de se “curarem” perante uma fissura ou, até mesmo, um corte total, causando a separação de, pelo menos, dois fragmentos do material. No caso da arquitetura uma das soluções tem sido reabilitar ao invés de fazer de novo.

Tomemos como exemplo um cenário em que um edifício seria submetido a um terremoto, a grandes forças externas que, provavelmente, causariam danos nos materiais que o compõem. A solução atual seria, ou demoli-lo ou, se possível, reabilitá-lo.

Uma investigação feita na Universidade de Bath, desenvolveu-se em torno de materiais com propriedades de auto-cura. A estes materiais, “self-healing materials”,

é-lhes dado um tempo para que eles processem a cura<sup>24</sup>. O processo de “self-healing” acontece ao nível molecular, denominado como “metathesis”. “Now, even metals can self-heal” (Materia Exhibitions B.V., 2014j).

Uma equipa nos Estados Unidos da América desenvolveu um outro material que se cura sozinho, um polímero, que consegue manter cerca de 60% da sua resistência anterior. O método de “self-healing” assemelha-se muito à coagulação do sangue numa ferida (Materia Exhibitions B.V., 2014p). Com estas capacidades, teremos novas e variadas utilizações dos materiais, quer na Arquitetura, quer em outras áreas.

---

24 Os nanomateriais de auto-cura fazem uso de um ciclo natural de calcário. Estes ciclos consistem na reação dos óxidos de cálcio com a água e o dióxido de carbono que por sua vez, preenchem as fendas/ranhuras. Existe ainda processos distintos deste, por exemplo, um betão que tem cápsulas com um polímero bi-componente, que reagem quando ocorre uma fissuração. Esta fissuração provoca a rutura das cápsulas e, deste modo, os dois componentes entram em contacto e reagem.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**HIDROFÓBICOS**

Materiais hidrofóbicos referem-se a materiais que, sujeitos a mudanças ou a alterações moleculares, através das novas tecnologias, ganham uma característica importante na construção, a impermeabilidade.

O uso do grafeno, por exemplo, tem vindo a crescer no mundo da ciência de materiais pelas suas características. Este material, é conseguido pela combinação hexagonal de átomos de carbono (Materials That Will Change the World Graphene, 2014), sendo super fino e, ao mesmo tempo, super resistente e flexível (Materials That Will Change the World Graphene, 2014).

Cientistas da ETH Zurich desenvolveram uma membrana super impermeável, constituída apenas por dois átomos de grafeno de espessura. Esta membrana não só é impermeável e leve, como permite a passagem do ar. Para obter a espessura de um cabelo humano são necessárias 100.000 camadas desta membrana. Mesmo conseguindo

obter a espessura de um cabelo do Ser Humano, estas camadas são 1000 vezes mais “respiráveis” que as que se encontram no mercado de hoje (Materia Exhibitions B.V., 2014e). “O grafeno<sup>25</sup> é apenas um exemplo de uma nova classe de “super-materiais” que a descobrimos usando tecnologias exponenciais tais como computação infinita, inteligência artificial e de impressão 3D”<sup>26</sup> (Materials That Will Change the World Graphene, 2014).

Com a evolução da tecnologia, o Ser Humano conseguiu criar novos materiais, através do biomimetismo, recorrendo conhecimentos da estrutura biológica dos seres vivos. Esta simbiose é, normalmente, o ponto de partida para novas descobertas, como é o caso do material mais impermeável de sempre, como lhe chamaram os cientistas do MIT. Este material é uma imitação dos processos naturais observados nas folhas e nas asas das borboletas. A evolução

---

25 Também pode ser utilizado como filtro utilizando os espaços deixados entre membranas de grafeno (durante a sua computação), precisamente com o tamanho das moléculas de água sendo assim capaz de separar água potável/ límpida, de uma água suja.

26 Tradução livre.

tecnológica permitiu que neste material fosse reduzido o tempo de contato da água com o mesmo<sup>27</sup>. Testes revelaram que este material pode ser aplicado em vários tipos de superfícies (materiais metálicos, não-metálicos, cerâmicos, e até mesmo em tecidos), e a estimativa do MIT é de que este material tenha uma melhoria da impermeabilidade de 40% sobre os existentes (Materia Exhibitions B.V., 2013e).

Outros materiais com a mesma função, super-hidrofóbicos, foram usados para outros fins. Por exemplo, NeverWet foi usado para fazer a publicidade de um festival. Este material super-hidrofóbico foi misturado com tintas que foram projetadas nas paredes através de stencis e de sprays. Quando chovia, toda a parede ficava molhada exceto as letras que tinham o material referido, sobressaindo apenas a tinta invisível e a publicidade do festival. O potencial destes materiais, sobretudo na arquitetura, permite-nos refletir nas inúmeras aplicações destes materiais.

---

27 Este material é “super-hidrofóbico”. A superfície consiste em nanosaliências no topo de uma superfície de silício, o que faz com que as gotas de água saltar fora do material, mantendo-o seco.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**HIGROSCOPICIDADE**

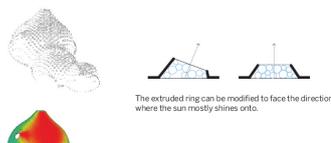
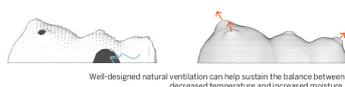
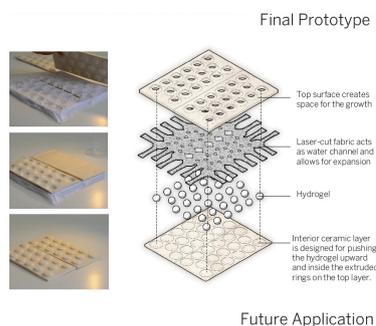


Fig. 21\_Hydroceramic

Com recurso à observação de fenómenos existentes na natureza, o Homem reproduziu-os para seu próprio benefício. Com o desenvolvimento de materiais inteligentes, emerge a possibilidade de elaborar novos e diversos modos de aplicações.

A Higrscopicidade é a capacidade que um material tem para absorver a humidade da atmosfera. “Porque a humidade relativa é dependente da temperatura os sistemas também mostram um grau de resposta térmica relativa” (Menges & Reichert, Material Capacity: Embedded Responsiveness, 2012, p. 57).

O Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha criou uma parede com um material que, normalmente, não era usado na arquitetura mas que permite combinar na perfeição, o hidrogel<sup>28</sup> (Fig.21). Ao adicionarem este novo

28 O hidrogel classifica-se, normalmente, por pequenas esferas às quais se adiciona água, aumentando a concentração de água e consequentemente o seu tamanho. O hidrogel é um polímero insolúvel de acrilato de hidroxietilo, acrilamida, óxido de polietileno, entre outros.

elemento à construção (hydroceramic<sup>29</sup>), conseguiram-se melhores resultados de termodinâmica, já que o hidrogel absorve a água do ar, nos dias de maior humidade, e a liberta nos dias de maior calor, equilibrando o ambiente interior de um espaço fechado. Hydroceramic pode ajudar a baixar os consumos de energia de um edifício em 28% (Santayanon, 2014), admitindo-se que os principais responsáveis do gasto energético são os ares condicionados. Estes, são normalmente dispendiosos e quase nunca são pensados com preocupações ecológicas.

Pesquisadores da Universidade da Califórnia desenvolveram uma membrana de auto-arrefecimento. Esta membrana, à qual Maria-Paz Gutierrez e a sua equipa denominaram de SABER, não requer nenhuma fonte externa de alimentação e consiste em nanoválvulas e lentes que se abrem e fecham conforme as condições externas de humidade, luz e calor. Desta forma, respondendo ao ambiente exterior, esta membrana permite que o arrefecimento quer

---

<sup>29</sup> A parede é composta por camadas de barro, pois faz aumentar o rendimento de hidrogel, e por hidrogel.

seja aplicado numa fachada inteira ou num só piso, seja feito automaticamente (Materia Exhibitions B.V., 2014l).

É de realçar também que a SABER não arrefece o ar, mas regula a transmissão de ar do exterior para o interior.

“Esta membrana assemelha-se à pele do Ser Humano que abre e fecha os poros, permitindo-a regular a temperatura, humidade e condições de luz”<sup>30</sup>. Este tipo de experiência foi efetuada numa pérgula pela equipa de (Menges & Reichert), já explicado anteriormente no capítulo Eficiência Energética.

---

30 Tradução Livre.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**PERFORMATIVOS**

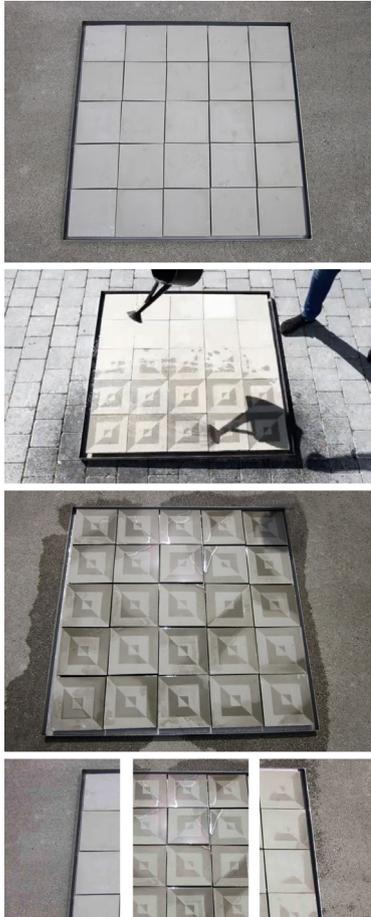


Fig. 22\_ "mudança" de cor do betão

Alguns materiais emergentes interagem com o Ser Humano, permitindo uma nova realidade, tanto ao nível da materialidade como ao nível da própria Arquitetura.

“A produção de arquitetura está à beira de uma mudança significativa. O design computacional permite aos arquitetos integrar mais informações de design, multifacetadas e complexas, enquanto lógicas industriais de construção<sup>31</sup>” (Menges, *Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design*, 2012).

Os Materiais tradicionalmente utilizados, como o betão, começam a ganhar novas funcionalidades e utilizações com o desenvolvimento tecnológico. Por exemplo, foi criada uma tinta especial (invisível), que quando é aplicada na superfície, neste caso concreto, no betão, e é humedecida, causa uma mudança de tom ao material (Fig. 22). Consequentemente, comparando o betão não tingido

---

31 Tradução livre.

com o que foi, “a diferença torna-se visível”<sup>32</sup> (Materia Exhibitions B.V., 2014i). Esta experiência foi feita numa praça a Este da França por uma designer, Mathilde Gullaude, que usou a tinta no betão, conseguindo obter degradês entre o betão molhado e o seco (Materia Exhibitions B.V., 2014i).

O acabamento dos materiais é importante para a Arquitetura. O designer Jonas Enqvist criou o conceito, “*WallSmart*” (Fig.23), pintura interativa, desenvolvido em protótipo por David Menting. Esta tinta é composta por nanopartículas responsáveis pela mudança de cor da superfície. “Os meta-materiais são projetados artificialmente e uma vez montados tem propriedades únicas que não são muitas vezes vistas em materiais naturais”<sup>33</sup> (Orbell, 2014). A ideia passou por criar uma única tinta que, controlada por uma aplicação de um Smartphone, oferecesse um enorme grupo de possibilidades de acabamento, de cores, controladas pelo utilizador do espaço (Materia Exhibitions B.V., 2014v).

32 Tradução livre.

33 Idem.



Fig. 23\_Tinta Wallsmart



Fig. 24 Exemplos do uso do líquido rheological

Outra das preocupações dos arquitetos, coloca-se quando pensam nas estruturas das consolas dos edifícios. Ter objetos suspensos no ar é um desafio estrutural com que o Homem se debate desde sempre. Contudo, estes desafios podem vir a ser superados se em conformidade com técnicas estruturais contemporâneas, conciliarmos as forças conseqüentes de campos (eletro)magnéticos, já que dois imanes tanto se atraem como se repelem, dependendo da disposição dos polos magnéticos do material. Com este princípio, foi desenvolvido um novo material, o líquido rheological (Fig.24), constituído à base de ferro, que aproveitando as suas características magnéticas, quando está sob a força de um campo magnético, consegue vencer a sua própria força gravítica (Materia Exhibitions B.V., 2014s).

**VERTENTE TEÓRICA**  
**OUTRAS APLICAÇÕES**

É fácil imaginar que não foram apresentadas todos os nanomateriais assim como todas as suas aplicações. Nota-se alguns desenvolvimentos tecnológicos importantes a nível da Arquitetura, nomeadamente na impressão 3D/4D, que vêm eliminar alguns erros causados pela intervenção humana, permitindo fazer mais e melhor e em menos tempo, minimizando os custos de produção. Esta tecnologia passa pela construção de máquinas especializadas que operam “imprimindo” em três dimensões, o que está desenhado pelo “arquiteto” no projeto, limitando o desfasamento entre o projeto e a sua execução. Este processo que se chama impressão 3D, foi explorado pela D-Shape, sistema de construção robótico que usa um material muito inovador. “The new material has been submitted to traction, compression and bending tests. The results have been extraordinary!” (Monolite UK Ltd).

D-shape permite uma liberdade de projeto e um

melhor nível de precisão, utilizando materiais ecológicos e níveis muito baixos de energia. Embora com dimensões razoáveis, a estrutura é muito leve e, por isso, facilmente transportável. “The binder transforms any kind of sand into a marble-like material (i.e. a mineral with microcrystalline characteristics) and with a resistance and traction much superior to Portland Cement, so much so that there is no need to use iron to reinforce the structure. This artificial marble is indistinguishable from real marble and chemically it is one hundred percent environmentally friendly” (Monolite UK Ltd).

Estas tecnologias de impressões 3D transformaram uma máquina de dimensões consideráveis, mesmo que leve, numa caneta, uma impressora 3D de bolso, à qual se deu o nome de 3D Lix (Fig.25). Esta caneta, imprime à medida que estamos a desenhar um material bioplástico que na realidade é fundido, passando do estado sólido para líquido e vice-versa, de uma forma quase instantânea. Este fenómeno dá-se pelo fornecimento de calor da caneta ao

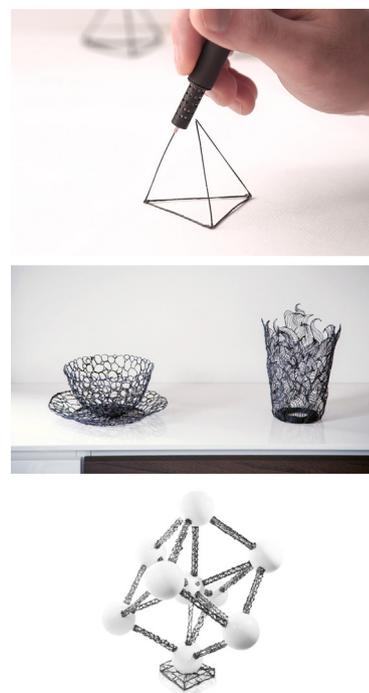


Fig. 25\_Caneta 3D Lix\_ alguns desenhos

material. Este conceito pode ser comparado a um ferro de soldar (Materia Exhibitions B.V., 2014d).

Um outro material, o Treeplast (Fig. 26), que não só é um composto biodegradável, como totalmente renovável, foi elaborado com base em fibras de madeira, podendo servir qualquer tipo de forma, dado que é fabricado por injeção. Este material, tem a particularidade de poder ser construído em qualquer tipo de cor, que pode ser equiparado à madeira, tanto na sua composição<sup>34</sup>, como no seu tratamento e acabamento (Materia Exhibitions B.V., 2014u).



Fig. 26\_Treeplast

---

34 Treeplast tem uma densidade de 1,4 kg / m<sup>3</sup> e muitas das mesmas propriedades que o MDF, bem como a sua aparência.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**A CONSTRUÇÃO NA ARQUITETURA**

Como se pode ver no capítulo anterior, a evolução da tecnologia permitiu a descoberta de novos materiais, assim como o aperfeiçoamento dos tradicionais. Tal como foi referido na história dos materiais, muitos deles, quando foram descobertos, não começaram logo a ser utilizados e a terem a utilidade que têm hoje em dia, porém, com o passar do tempo, o Ser Humano estudou-os de modo a que tivessem sempre, de alguma maneira, o melhor aproveitamento possível.

O modo de fazer Arquitetura está muito dependente da sua construção. Entenda-se por construção a forma como algo é composto, neste caso, a conjugação de vários materiais em comunhão com técnicas especializadas, paralelamente a um plano de estrutura (Porto Editora, 2003).

Desde sempre que a Arquitetura e os materiais estão relacionados. O conhecimento dos materiais, por parte do arquiteto, é fundamental para a caracterização e a harmonia

dos espaços arquitetónicos. A utilização dos materiais, em arquitetura, é sempre muito cuidada, de forma a que o arquiteto consiga transmitir aquilo que deseja. Com diferentes materialidades ou, até mesmo, com materiais iguais, mas dispostos de maneiras diferentes, conseguem-se variados tipos de espaços.

Com o uso de tecnologias avançadas, tanto nos materiais de construção tradicionais (tais como o betão, as argamassas ou os cerâmicos), como nos materiais que começam por aparecer noutras áreas, por exemplo, a engenharia de materiais, ambos possibilitam uma transformação na construção e na execução da Arquitetura. Estas tecnologias permitem-nos um novo processamento do material e, sobretudo, um melhor controlo das propriedades dos materiais.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**A UTILIZAÇÃO NA ARQUITETURA**

Hoje em dia, graças à evolução da tecnologia, as aplicações dos materiais têm vindo a ser alteradas, ao serem aproveitados na construção para outros fins que não aqueles para os quais foram realmente desenvolvidos. Como foi visto, a título de síntese, a utilização dos nanomateriais, neste caso na Arquitetura, pode ser dividida pelas suas específicas propriedades.

No grupo de substâncias, entende-se a introdução de nanomateriais em prol da melhoria de propriedades dos materiais, tais como, o dióxido de titânio<sup>35</sup> ou até mesmo os polímeros nanoestruturados<sup>36</sup> (Santos, 2013). Já no capítulo das propriedades, como o próprio nome indica, a utilização

---

35 Os revestimentos à base desta nanopartícula são capazes de captar e absorver poluentes orgânicos e inorgânicos por um processo fotocatalítico fazendo com que o material revestido permaneça sempre limpo. (Zhu, Bartos, & Porro, 2004, p. 653).

36 Poliacrilatos, Polissacarídeos, Polivinílicos, Polietilenos, Polipeptídeos, Poliácidos, Polianidridos, Resinas fenólicas, Resinas epóxi, Polialquilenos, Polilactonas, Poliestireno, Polieter (FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho).

dos materiais emergentes depende da propriedade que os caracteriza, por exemplo, a hidrofobia, a resistência mecânica, o aumento da eficiência energética, entre outros.

Na Arquitetura contemporânea, a utilização de materiais emergentes está sempre vinculada ao conhecimento destes novos materiais por parte do arquiteto, assim como está sujeita aos custos de edificação de um projeto, desde o investimento de um material emergente ao custo da sua aplicação e transporte e, por fim, à viabilidade do material, entendendo-se que o material tem de ser sustentável.

O conhecimento do arquiteto em relação aos materiais que vão aparecendo com o avanço da tecnologia deve estar sempre em constante evolução. O interesse e a pesquisa destes novos materiais e, por consequência, novas técnicas de construção dependem somente do arquiteto, pelo que não será aqui discutido o empenho/execução da sua profissão. Desta forma, serão discutidos apenas os custos de utilização e a sua sustentabilidade.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**CUSTOS**

Os materiais que provêm de tecnologias avançadas apresentam um investimento, normalmente, maior que outro tipo de materiais, todavia, devemos ter em conta o seu ciclo de vida; pois é neste ciclo que se vai descobrir o verdadeiro custo de um material para aplicação em obra. Ao custo do investimento temos de adicionar custos de manutenções, reparações e da sua própria utilização. Hoje em dia já existem métodos de comparação de soluções técnicas (life cycle costing), que se utilizam num projeto de arquitetura, para obter os valores, ainda que aproximados, da utilização do produto no seu ciclo de vida (Santos, 2013). A qualidade de uma obra está intrinsecamente ligada ao valor da produção versus a tecnologia utilizada e é claro que, numa situação menos favorável, a nível económico, a percentagem não é de igual para igual, sendo maior a importância do custo da produção da obra; no entanto, o facto de uma solução arquitetónica ser mais durável

dado à sua tecnologia, prevalece ao investimento inicial de produção. Por esta razão, é perceptível que, utilizando uma tecnologia mais avançada, apesar de inicialmente se traduzir num aumento de custo da obra, este custo, a médio e longo prazo, será combatido pelo pouco ou quase nenhum custo na manutenção/reparação, durante a vida do edifício. Tem-se como exemplo uma superfície cuja propriedade, devido à sua composição com materiais nanotecnológicos, é nunca se sujar<sup>37</sup>, o que conseqüentemente não terá custos de manutenção (Santos, 2013).

Por outro lado, o avanço da tecnologia nestes materiais poderá vir a alterar o meio e o modo de como é transportado, bem como diminuir o tempo da sua aplicação. Tendo como base alguns materiais do subcapítulo maleabilidade (entre outros) pode-se, logo à partida, imaginar que, se estes mudam a sua forma de inicial para final, quando se quer

---

37 Com o acréscimo de óxidos de zinco a estes materiais dá-se uma reação química que destrói por completo os detritos na superfície do material. (Social Commitment-Saint Gobain Glass United Kingdom), (Clarian - Fluowet ETC, 2006).

(graças a um desenho computacional, por exemplo), o material poderá ser transportado, no limite, num carro de passageiros ao invés de um camião. Facilitar-se-á assim o seu transporte e rapidamente se aumentará o volume ou o número de peças, levando assim a uma otimização dos custos, atribuídos ao transporte de materiais para a obra. Em relação à aplicação de material nanotecnológico em obra, poderemos dizer que também se poupará imenso tempo e mão-de-obra especializada. Esta diminuição traduzir-se-á na redução de custos, pois um material que se transforma e que se “monta sozinho”, permitirá reduzir, em obra, o pessoal especializado para a sua montagem e canalizá-los para outro tipo de trabalhos.

É certo que a procura da aplicação destes novos materiais está em constante crescimento, dado à sua investigação, ainda que não transmitam total segurança aos arquitetos, diretores de obra e finalmente ao utilizador final do edificado. Relativamente ao custo destes materiais, é natural que sejam mais dispendiosos visto que o seu

investimento ainda passa pela pouca produção para o seu estudo (Santos, 2013).



**VERTENTE TEÓRICA**  
**SUSTENTABILIDADE**

Entende-se por sustentabilidade a “característica ou qualidade de ser sustentável; realizada de forma a não esgotar os recursos naturais nem causar danos ambientais” (Porto Editora, 2003). Um Ser sustentável pode ser caracterizado pela sua aptidão de viver no planeta Terra sem afetar os recursos naturais disponíveis a futuras gerações futuras (Wikipédia - A enciclopédia livre, 2013). O conceito de sustentabilidade envolve a necessidade de um equilíbrio entre as dimensões sociais, económicas e ambientais. Contudo, será importante referir os vários tipos de recursos e a sua relação com o tema deste trabalho. O impacto ambiental, social e económico dos materiais considerados, no seu ciclo de vida, deve de ser o mais reduzido possível.

Talvez um dos recursos, um pouco mais lato neste tema, será a questão ambiental, que defende sobretudo uma correta conformidade entre o Homem e a Natureza, sendo que o Homem tem que, acima de tudo, respeitar-se a si

mesmo para que possa respeitar a Natureza (Wikipédia - A enciclopédia livre, 2013).

Questões mais centrais na sustentabilidade ligadas à Arquitetura serão as questões ambientais (energéticas) e sociais, onde a prática social da sustentabilidade está sobretudo relacionada com a necessidade de equilíbrio e justiça social. Acredita-se, neste contexto, que não pode haver um futuro sustentável se não houver este equilíbrio e esta justiça. A Arquitetura é determinante no equilíbrio social na medida em que é a arquitetura que define os ambientes construídos em que ocorre o enorme conjunto de atividades e inter-relações que caracterizam o grupo social.

O gasto excessivo de energia leva à insustentabilidade mas, simultaneamente, a falta desta exprime também a pobreza de uma população, por demonstrar a probabilidade de não gerar economia (necessidades de custos/lucros para desenvolvimentos e investigações dentro de uma sociedade) (Santos, 2013).

“O elevado consumo de energia nos edifícios tem

vindo a ser responsável pela publicação de legislação europeia que visa limitar esse consumo, por via da melhoria dos processos construtivos e da adopção de estratégias de redução do consumo em paralelo com a definição de esquemas de certificação energética que permitam ao mercado escolher e por essa via promover a disseminação das melhores práticas” (Farinha Mendes, Salgueiro, Cardoso, & Encarnação Coelho, 2012). É certo que os materiais emergentes que foram abordados, por exemplo, no subcapítulo eficiência energética, vêm resolver problemas, mas também facilitar novas e melhores práticas face aos materiais tradicionais.

As novas tecnologias que, cada vez mais, aumentam o rendimento da captação de energias renováveis permitem uma melhor aplicabilidade dos materiais anteriormente mencionados que, de alguma maneira, ajudam a que um edifício seja ecologicamente viável, como por exemplo as células “Crystal clear”. Estas podem-se aplicar numa superfície de vidro qualquer deixando entrar o sol e,

ao mesmo tempo, captar parte da sua energia ou, até mesmo, a já referida “pele” bifásica, opaca, que permite a permeabilidade à luz do sol sem gastos energéticos recorrendo à nano computação, explicada por (Menges & Reichert).

Materiais menos poluentes e biodegradáveis serão fabricados pela nanotecnologia (treeplast, por exemplo), ajudando-nos no meio ambiente<sup>38</sup>. A vertente ambiental está, em parte, conectada à questão energética, mas sobretudo, esta diferenciação foi feita por uma tratar questões puramente energéticas e outra estar relacionada a questões de poluição e de utilização de modo racional do meio ambiente. A este domínio, pode-se associar um mau uso do solo e, no caso da construção ou destruição de um edifício, os resíduos de construção e demolição, entre outros já num diagnóstico particularizado (Santos, 2013). Relativamente ao uso do solo põe-se em causa dois pontos.

Um menor uso deste, dado ao melhoramento das estruturas,

---

38 In: (Crandall, 1996) Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance. (B. Crandall, ed.).

que desenvolvendo melhores materiais ou aperfeiçoando os tradicionais, como por exemplo e respectivamente, nanotubos de carbono e a adição de nanopartículas no betão, originam a mesma área útil no interior do edifício com a diminuição da área de intervenção exterior (Santos, 2013). Este início da não interação da construção com o solo, no limite, poderá também, através de campos eletromagnéticos, como explicado anteriormente, originar o aumento das consolas dos edifícios. Este último exemplo, à consola, administra-se um segundo ponto à optimização do uso do solo, como a prática da agricultura, uma vez que o edificado se eleva do chão<sup>39</sup>. É na agricultura que se encontra a possibilidade de produzir os (eco) biomateriais (materiais estes que depois se podem usar na Arquitetura), e como referido anteriormente, uma das maneiras do Ser Humano reduzir o uso de energia e dos gases poluentes provenientes deste modo de “fabricação” de materiais.

---

<sup>39</sup> No caso do exemplo referido de “consola eletromagnética”, o solo sob a construção terá que estar, em princípio, ocupado com algo polarizado para que seja possível o efeito eletromagnético. A ser assim, não se pode usar esse solo para agricultura.

Acredita-se que o nível de sustentabilidade de um edifício terá que ser, cada vez mais, um tema integrado na Arquitetura e, como analisado, estes novos materiais, nanotecnológicos ou não, podem ser uma alternativa aos tradicionais, de forma a melhorar e a precaver problemas a gerações futuras.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**CASOS DE ESTUDO**

Perante uma Arquitetura contemporânea com recurso a tecnologia avançadas, expõem-se alguns casos de estudo referentes a edificações despoletadas por materiais emergentes. Simultaneamente, é necessário entender que todo o desenvolvimento de um projeto, desde o levantamento, visita ao local até ao projeto de execução, depende muitas vezes das várias escolhas do arquiteto. Ao abrigo da Lei nº. 31/2009, de 3 de julho, “o autor de projeto é o técnico ou técnicos que elaboram e subscrevem, com autonomia, o projeto de arquitetura, cada um dos projetos de engenharia ou o projeto de paisagismo, os quais integram o projeto, subscrevendo as declarações e os termos de responsabilidade respetivos”. Portanto, sem denegrir a importância do cliente que, ao fim e ao cabo, é quem encomenda a obra ao arquiteto e que, por isso, pode ter algo a dizer sobre a materialidade, é o arquiteto que escolhe ou propõe ao cliente os materiais que irá usar nas suas obras.

Os casos de estudo presentes são “edificados” com materiais emergentes e/ou materiais tradicionais modificados, que recorrem às novas tecnologias e não exploram a resolução de todos os problemas com que a arquitetura e a construção se deparam (já que para isso, era necessária uma análise mais profunda); ainda assim são ultrapassadas parte dessas dificuldades.

Admita-se um caso de estudo onde a estrutura é de betão com aditivos de resistência mecânica (Sílica ou nanotubos de carbono<sup>40</sup>) e de auto-cura. Assim, contendo componentes de auto-cura, permanece mais tempo sem necessitar de manutenção. No caso das paredes exteriores do edifício, num ambiente mais campestre, com uma estrutura de madeira que fixa as caixas de acrílico onde se encontra a palha de combustão e/ou num ambiente mais urbano, com estruturas de caixilharias onde se encaixa um vidro<sup>41</sup> duplo com células “Crystal clear” (onde se controla por comando a

---

40 (Santos, 2013, p. 15).

41 De modo a evitar a sua sujidade o vidro contém dióxido de titânio na sua superfície.

opacidade do vidro e/ou a cor). De modo a controlar melhor a eficiência energética da casa, admita-se uma pele (para as janelas, por exemplo), que integre o sistema de “Climate-responsive Architecture”<sup>42</sup>, explorado anteriormente e que, por sua vez, seja tingida com a descoberta<sup>43</sup> da Professora Jill Buriak, com o intuito de aproveitar a energia solar. Para paredes interiores, tanto na casa de campo com na casa da cidade, pode pensar-se em paredes maleáveis (utilizando por exemplo, tecnologias de computação), que permitem ao utilizador escolher os seus próprios espaços, segundo uma gramática da forma.

Não obstante, o caso de estudo mencionado, a higroscopicidade, já apresentada juntamente com a hidrofobia dos materiais, é importante na Arquitetura. Pode-se imaginar um outro caso de estudo, uma reabilitação, onde as paredes exteriores enterradas ou coberturas já se encontram deterioradas por infiltrações e,

---

42 (Menges & Reichert, *Material Capacity: Embedded Responsiveness*, 2012).

43 Tinta que ao ser projetada na parede forma uma película fina que é sensível à luz.

consequentemente, a necessitar de novas impermeabilizações. O grafeno, já apresentado anteriormente no subcapítulo hidrofóbico, pode ser uma alternativa à tela impermeabilizante que se encontra em mau estado e, ao mesmo tempo, garantir uma longevidade maior pois, esta membrana é resistente e flexível. À semelhança do grafeno, encontram-se outros materiais com modos de aplicabilidade diferentes, tais como o “never wet” que pode ser aplicado como se tratasse de uma tinta de spray. Posteriormente, no acabamento exterior da parede reabilitada, é aplicada a tinta “WallSmart”, investigada pelo designer Jonas Enqvist, que disponibiliza ao utilizador inúmeras opções de cor na fachada.

Cada vez mais o uso das tecnologias, para a explicação e aperfeiçoamento da própria Arquitetura, é maior. Um estudo de caso que ilustra isso mesmo é a impressão 3D ao imaginar-se um momento de esclarecimento de projeto (num gabinete de arquitetura) onde o Arquiteto, com recurso à caneta 3D Lix (já mencionada), demonstra como idealizou

um pormenor ao colaborador ou esboça cuidadosamente o objeto arquitetónico ao cliente ao invés de o fazer através de uma maquete. Tal como com o uso da caneta 3D lix, rapidamente, fez uma “maquete” o mesmo acontece com a impressão 3D de edifícios, face ao método tradicional. Segundo D-Shape, tudo é possível com recurso a uma boa resistência à tração e à compressão do material, um mineral com características microcristalinas.

Os casos de estudo aqui expostos apenas ilustram alguns exemplos de eficiência energética, resistência mecânica, higroscopicidade, hidrofobia, self-healing, maleabilidade e performativos. Todavia, é fácil idealizar a existência de outros casos possíveis e de outras aplicações dos materiais emergentes de tecnologias na Arquitetura.

**VERTENTE TEÓRICA**  
**CONCLUSÃO**

Em boa verdade, todos os capítulos e subcapítulos estão relacionados e correlacionados, na medida em que, todos têm em comum a melhoria da qualidade de vida do Ser Humano e a sustentabilidade. É como elo de relação e na correta conformidade entre o Homem e o ambiente que surge a arquitetura, apresentando fortes ligações com a sua materialidade. Neste sentido, a história dos materiais está intrinsecamente associada à história do Homem, como se pode verificar na nomeação das várias épocas deste, nomeadamente, a idade da pedra e a idade do bronze.

Diferentes casos de estudo foram apresentados sobre materiais emergentes, subdivididos em propriedades de diversas aplicações na Arquitetura, que apenas representam uma parte da relação entre as tecnologias avançadas e a arquitetura. Estes materiais e as suas técnicas de construção instituem a resolução conveniente às preocupações de hoje, onde a sustentabilidade, refletida com alguns subcapítulos;

bem como a diminuição de resíduos de construção e demolição e o melhoramento do uso do solo, se tornam, cada vez mais, assuntos prioritários na construção da arquitetura.

Naturalmente, é complicado prever se a inclusão, na arquitetura, dos materiais emergentes das novas tecnologias poderá ser feita num futuro próximo. Esta inclusão dependerá, principalmente, do custo do produto e do seu desenvolvimento face às preocupações arquitetónicas de um “futuro hoje”. Relativamente ao preço do produto, embora seja fácil de entender que o preço aumentará ao cliente final, porque o nicho de mercado destes materiais ainda se foca na sua pouca produção para fins de estudos, acredita-se que, quando houver uma estabilização do mercado dos materiais emergentes, haverá uma diminuição de custos ao consumidor final. Esta diminuição ocorrerá pela consequência do desenvolvimento do material (a nível tecnológico), perante as preocupações atuais da Arquitetura, acreditando-se, por exemplo, que estes materiais aumentarão o nível de sustentabilidade de um edifício,

de forma a melhorar e a precaver problemas das gerações futuras e a resolver dificuldades de higroscopicidade assim como de impermeabilizações. É certo que a procura destes novos materiais está em constante crescimento, dado que a sua aplicabilidade possibilita a resolução de várias questões arquitetónicas ao mesmo tempo, durante a sua construção (como exemplificado no subcapítulo - maleabilidade), utilização e demolição (como explicado no capítulo - Construção em Arquitetura).

Agregado a estes aspetos, existem ainda dois critérios relevantes, a durabilidade e a eficiência. A compreensão da durabilidade dos materiais está relacionada com a exposição que os materiais têm; logo, pelo facto destes materiais emergentes não serem expostos a situações reais, sobretudo situações permanentes, ainda que a expectativa seja alta, nada se pode asseverar quanto à sua durabilidade. Relativamente à eficiência, é importante destacar que esta tem de ser maior face aos materiais tradicionais, para que exista uma vontade de investir inicialmente num material

emergente ao invés de um tradicional.

Por último, é crível que, com o recurso a tecnologias avançadas, tanto os materiais de construção tradicionais como os materiais emergentes, possibilitem uma transformação na construção e na execução da Arquitetura, já que haverá uma maior interação dos materiais com o Ser Humano, sobretudo porque a arquitetura passará por projetar também os materiais. Temos como exemplo os materiais de “self-assembling”, onde o arquiteto projetará o material que se vai mover (para onde, quando e porquê), ao invés do espaço fixo e emparedado. Estas tecnologias permitem assim um novo processamento do material e, sobretudo, um melhor controlo das propriedades dos materiais que, por sua vez, conduzem a uma mudança do modo físico e intelectual de fazer Arquitetura.

## DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este trabalho tem como objetivo apoiar a realização de futuros desenvolvimentos, perspetivando um alargamento e aprofundamento de questões relacionadas com materiais emergentes na Arquitetura. Por isso, é de extrema importância centralizar mais conhecimento sobre o tema e assim apresentar determinados trabalhos para serem desempenhados no futuro.

É certo que existem muitos materiais emergentes cujas propriedades e técnicas de aplicação divergem, positivamente, dos materiais tradicionais, no entanto, importa fazer uma análise destes, baseada na sua aplicação e/ou deterioração ao longo dos anos (perspectivados de raiz e aplicados ao máximo não caindo em exagero), em casos de estudo edificados. Confirmar que estes materiais emergentes se adequam a casos reais poderá ser uma forma de promover a sua entrada no mercado e o seu investimento inicial.

Naturalmente, certos materiais fornecerão mais segurança que outros nas suas aplicações e, por esse motivo, seria conveniente o estudo destes, material a material, alienando sempre o seu desempenho, tanto a nível da sustentabilidade, como a nível de custos, praticados a médio/longo prazo.

Um tema referido e pouco explorado neste trabalho foi o tema dos eco materiais, que têm origem na natureza, acabando por ser materiais bastante sustentáveis nas várias fases de projeto. A pesquisa e os desenvolvimentos de aplicações, utilizando estes materiais biológicos, poderão ajudar e promover questões como “zero impact building”, protagonizadas pela Arquitetura contemporânea. Outros materiais, também abordados e que merecem análises mais detalhadas, são os nanopolímeros dado que estes traduzem uma diversidade de aplicações e conjugações com materiais nanotecnológicos.



**VERTENTE TEÓRICA**  
**BIBLIOGRAFIA**

Clift, R., & Lloyd, S. (2008). Nanotechnology. *Journal of Industrial Ecology* , 12 (3), 259-262.

Ameal, J. (1950). Setúbal. Setubal: Sete séc. de história. Setúbal: Câmara Municipal de Setúbal.

Ashby, M. F., Ferreira, P. J., & Schodek, D. L. (2009). *Nanomaterials, Nanotechnologies and Design*. Oxford: Elsevier.

Braga, P. D. (1998). *Setúbal medieval: séculos XIII a XV*. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Setúbal.

Chandler, D. L. (15 de Agosto de 2013). How to make big things out of small pieces. Obtido em 12 de Novembro de 2014, de MIT News: <http://newsoffice.mit.edu/2013/how-to-make-big-things-out-of-small-pieces-0815>

Clarian - Fluowet ETC. (2006). Obtido em 20 de Julho de 2015, de Clariant International: [http://www.latam.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/2006\\_PaintCoatings\\_Newsroom\\_Brochures\\_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf/\\$FILE/2006\\_PaintCoatings\\_Newsroom\\_Brochures\\_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf](http://www.latam.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/2006_PaintCoatings_Newsroom_Brochures_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf/$FILE/2006_PaintCoatings_Newsroom_Brochures_EasyToCleanFluowetETCRRange.pdf)

Crandall, B. (1996). Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance (B. Crandall, Ed.).

Farinha Mendes, J., Salgueiro, A., Cardoso, J., & Encarnação Coelho, R. (2012). PORTUGAL 2020 E A INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVAVEIS NOS EDIFICIOS. Ambiente, Energias e Alterações Climáticas – II , 56-68.

Fernandez, J. (2006). Material Architecture. Oxford: Elsevier.

FUNDACENTRO - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. (s.d.). Polímeros - nanotecnologia. Obtido em 20 de Julho de 2015, de FUNDACENTRO: <http://www.fundacentro.gov.br/nanotecnologia/polimeros>

Harper, T. (2003). What is Nanotechnology? IOP science , 14 (1).

Hegger, M., Auch-schwelk, V., Fuchs, M., & Rosenkranz, T. (2006). Construction Materials Manual. (Detail, Ed.) Boston: Birkhäuser-Publishers for Architecture.

Lehman, M. L. (9 de Fevereiro de 2009). Nanotechnology and New Materials for Architecture. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Sensing Architecture: <http://sensingarchitecture.com/523/nanotechnology-and-new-materials-for-architecture/>

Macedo, F. H. (2011). A expressividade dos eco materiais. Universidade Técnica de Lisboa - Faculdade de Arquitectura. Lisboa: FAUTL.

Materia Exhibitions B.V. (22 de Novembro de 2014a). Bendt. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/bendt/>

Materia Exhibitions B.V. (1 de Novembro de 2013a). Biobased Materials For the Future. Obtido em 20 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/event/biobased-materials-for-the-future/>

Materia Exhibitions B.V. (28 de Outubro de 2013b). Breakthrough Solar Cell Material. Obtido em 20 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/breakthrough-solar-cell-material/>

Materia Exhibitions B.V. (19 de Outubro de 2013c). Colouring Outside The Box. Obtido em 29 de Setembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/colouring-outside-box/>

Materia Exhibitions B.V. (2 de Março de 2014b). Concrete Flex. Obtido em 2 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/concrete-flex/>

Materia Exhibitions B.V. (24 de Setembro de 2014c). Crystal Clear Solar Cells. Obtido em 20 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/crystal-clear-solar-cells/>

Materia Exhibitions B.V. (19 de Novembro de 2013d). Design Spotlight: Curved Concrete. Obtido em 18 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/design-spotlight-curved-concrete/>

Materia Exhibitions B.V. (7 de Junho de 2014d). Drawing In The Air. Obtido em 20 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/drawing-air/>

Materia Exhibitions B.V. (21 de Maio de 2014e). Graphene Super Membrane. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/graphene-super-membrane/>

Materia Exhibitions B.V. (6 de Setembro de 2014f). Growing Biobased Building Materials. Obtido em 12 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/growing-biobased-building-materials/>

Materia Exhibitions B.V. (27 de Novembro de 2014g). Hydroceramic: Intellegent Material Prototype. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/hydroceramic-intelligent-material-prototype/>

Materia Exhibitions B.V. (21 de Outubro de 2014h). Inca Inspired Quake Column. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/inca-inspired-quake-column/>

Materia Exhibitions B.V. (4 de Dezembro de 2013e). Most Waterproof Material Ever. Obtido em 12 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/waterproof-material-ever/>

Materia Exhibitions B.V. (26 de Junho de 2014i). Rain Change Concrete. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/rain-change-concrete/>

Materia Exhibitions B.V. (20 de Março de 2014j). Repair Yourself! Obtido em 2 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/repair/>

Materia Exhibitions B.V. (21 de Setembro de 2014l). Saber: The Self-Cooling Material. Obtido em 12 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/saber-self-cooling-material/>

Materia Exhibitions B.V. (27 de Março de 2014m). Secrets of Porcelan. Obtido em 2 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/secrets-porcelain/>

Materia Exhibitions B.V. (20 de Novembro de 2014n). Self-Assembling Wood? Weather Activated Clothes? MIT Says Yes. Obtido em 20 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/self-assembling-wood-weather-activated-clothes-mit-says-yes/>

Materia Exhibitions B.V. (20 de Maio de 2014p). Self-healing “Blood” Polymer. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/self-healing-blood-polymer/>

Materia Exhibitions B.V. (12 de Abril de 2014o). Self-Heating House. Obtido em 20 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/self-heating-house/>

Materia Exhibitions B.V. (27 de Setembro de 2013f). Spray-Paint Solar Cells. Obtido em 20 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/spray-paint-solar-cells/>

Materia Exhibitions B.V. (12 de Fevereiro de 2014q). Super Tough Glass Inspired By Shells. Obtido em 2 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/>

article/super-tough-glass-inspired-shells/

Materia Exhibitions B.V. (16 de Setembro de 2014r). Superhydrophobic In Seattle. Obtido em 12 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/superhydrophobic-seattle/>

Materia Exhibitions B.V. (15 de Março de 2014s). The Art Of Magnetism. Obtido em 2 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/art-magnetism/>

Materia Exhibitions B.V. (18 de Novembro de 2013g). Thermoformable Bio-Plastic Developed. Obtido em 20 de Outubro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/article/thermoformable-bio-plastic-developed/>

Materia Exhibitions B.V. (26 de Abril de 2014t). Thermoplastic Film. Obtido em 17 de Dezembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/material/thermoplastic-film-2/>

Materia Exhibitions B.V. (1 de Maio de 2014u). Treeplast. Obtido em 26 de Novembro de 2014, de Materia: <http://materia.nl/material/treeplast/>

Materia Exhibitions B.V. (18 de Novembro de 2014v). wallsmart: Interactive paint. Obtido em 24 de Janeiro de 2015, de Materia: <http://materia.nl/article/wallsmart-interactive-paint/>

Materials That Will Change the World Graphene. (20 de Outubro de 2014). Obtido em 20 de Dezembro de 2014, de LinkedIn: <https://www.linkedin.com/pulse/20141020150927-994365-materials-that-will-change-the-world->

graphene?trk=nus-cha-roll-art-title

Menges, A. (2012). Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. *Architectural Design* , 82 (2), 34-43.

Menges, A. (2012). Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. *Architectural Design* , 82 (2), 14-21.

Menges, A., & Reichert, S. (2012). Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. *Architectural Design* , 82 (2), 52-59.

Monolite UK Ltd. (s.d.). D-Shape. Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de D-Shape: <http://www.d-shape.com/index.htm>

Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas. (22 de Abril de 2005). A gaiola como génese da construção anti-sísmica. Obtido em 22 de Julho de 2015, de LNEC - Departamento de Estruturas: [http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol\\_const\\_sism.html](http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html)

Orbell, P. (15 de Setembro de 2014). Invisibility cloaks closer thanks to ‘digital metamaterials’. Obtido em 12 de Outubro de 2014, de Phys.org - News and Articles on Science and Technology: <http://phys.org/news/2014-09-invisibility-cloaks-closer-digital-metamaterials.html>

Oxman, N. (2012). Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. *Architectural Design* , 82 (2), 88-95.

Porto Editora. (2003). Infopédia. Obtido em 2015, de Dicionários Porto Editora: <http://www.infopedia.pt/>

Sanchez, F., & Sobolev, K. (2010). Nanotechnology in concrete. *Construction and Building Materials*, 24 (11), 2060–2071.

Santayanon, P. (25 de Junho de 2014). Hydroceramic. (Wordpress) Obtido em 28 de Junho de 2015, de Iaac - Institute for Advanced Architecture of Catalonia: <http://www.iaacblog.com/maa2013-2014-digital-matter-intelligent-constructions/2014/06/hydroceramic/#more-673>

Santos, L. F. (2013). DIREÇÃO DE OBRA: INVESTIGAÇÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto: FEUP.

Saraiva, J. H., Castro, A. O., Bessa, C., Silva, C., Faria, C., Cristóvão, F., et al. (1990). A História de Setúbal. Setúbal na história. Setúbal: L.A.S.A.

Setúbal: Município participado. (s.d.). Obtido de História: <http://www.mun-setubal.pt/>

Silva, J. C. (1990). Setúbal. (E. Presença, Ed.) *Cidades e vilas de Portugal*, p. 93.

Siqueira, E. (27 de Setembro de 2009). O poder revolucionário da nanotecnologia. Obtido em 14 de Janeiro de 2015, de Estadão: <http://www.estadao.com.br/noticias/geral,o-poder-revolucionario-da-nanotecnologia,441645>

Social Commitment-Saint Gobain Glass United Kingdom. (s.d.). Obtido em 20 de Julho de 2015, de Saint Gobain: <http://uk.saint-gobain-glass.com/content/social-commitment>

Turner, J. S. (2012). Material Computation: Higher Integration in Morphogenetic Design. *Architectural Design* , 82 (2), 28-33.

United States National Nanotechnology Initiative. (s.d.). National Nanotechnology Initiative. Obtido em 9 de Janeiro de 2015, de <http://www.nano.gov/nanotech-101/special>

United States National Nanotechnology Initiative. (s.d.). National Nanotechnology Initiative. Obtido em 9 de Janeiro de 2015, de What is nanotechnology?: <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>

University of Colorado Boulder. (22 de Outubro de 2013). CU-Boulder researchers develop 4D printing technology for composite materials . Obtido em 12 de Dezembro de 2014, de Be Boulder. University Of Colorado Boulder: <http://www.colorado.edu/news/releases/2013/10/22/cu-boulder-researchers-develop-4d-printing-technology-composite-materials>

Wikipédia - A enciclopédia livre. (Janeiro de 2013). Obtido em 22 de Julho de 2015, de Sustentabilidade: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sustentabilidade>

Zhu, W., Bartos, P., & Porro, A. (2004). Application of nanotechnology in

construction: Summary of a state-of-the-art report. *Materials and Structures* , 37, 649-658.

## BIBLIOGRAFIA DE IMAGENS

FIG.1\_ [HTTP://WWW.MUSEULOURINHA.ORG/PT/ARQ\\_PALE.JPG](http://WWW.MUSEULOURINHA.ORG/PT/ARQ_PALE.JPG)

FIG.2\_ [HTTP://BLOGS.IESABROAD.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2013/04/MORAN.LONDON.STONEHENGE1.JPG](http://BLOGS.IESABROAD.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2013/04/MORAN.LONDON.STONEHENGE1.JPG)

FIG.3\_ [HTTPS://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/E/E9/LOOSHAUS\\_VIENNA\\_JUNE\\_2006\\_546.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/E/E9/Looshaus_Vienna_June_2006_546.JPG)

FIG.4\_ [HTTP://WWW-EXT.LNEC.PT/LNEC/DE/NESDE/DIVULGACAO/GAIOL\\_CONST\\_SISM.HTML](http://WWW-EXT.LNEC.PT/LNEC/DE/NESDE/DIVULGACAO/GAIOL_CONST_SISM.HTML)

FIG.5\_ [HTTP://WWW.DETAIL-ONLINE.COM/INSPIRATION/SITES/INSPIRATION\\_DETAIL\\_DE/UPLOADS/IMAGESRESIZED/PROJECTS/780\\_20130805120031A094D720C47265F62D51B1A6CB42A94235C3C631.JPG](http://WWW.DETAIL-ONLINE.COM/INSPIRATION/SITES/INSPIRATION_DETAIL_DE/UPLOADS/IMAGESRESIZED/PROJECTS/780_20130805120031A094D720C47265F62D51B1A6CB42A94235C3C631.JPG)

FIG.6\_ [HTTP://WWW.HENRYHUTCHEON.COM/USERIMAGES/CRYSTALPALACEFORWEBSITE23-7-08X2.JPG](http://WWW.HENRYHUTCHEON.COM/USERIMAGES/CRYSTALPALACEFORWEBSITE23-7-08X2.JPG)

FIG.7\_ [HTTP://VIVENDOAVENTURAS.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2011/09/20110929-201128.JPG](http://VIVENDOAVENTURAS.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2011/09/20110929-201128.JPG)

FIG.8\_ [HTTPS://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/IT/0/0B/RICHARD-FEYNMAN.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/0/0B/Richard-Feynman.JPG)

FIG.9\_ [HTTP://CRYOGENIC.PHYSICS.BY/INDEX.PHP/EN/SCIENTIFIC-ACTIVITIES/USEFUL/299-NANOTECHNOLOGY-HISTORY](http://CRYOGENIC.PHYSICS.BY/INDEX.PHP/EN/SCIENTIFIC-ACTIVITIES/USEFUL/299-NANOTECHNOLOGY-HISTORY)

FIG.10\_ [HTTPS://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/5/59/MACHUPICCHU\\_INTIHUATANA.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Machupicchu_intihuatana.jpg)

FIG.11\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/INCA-INSPIRED-QUAKE-COLUMN/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/INCA-INSPIRED-QUAKE-COLUMN/)

FIG.12\_ [HTTP://CDNI.WIRED.CO.UK/1240X826/A\\_C/BQ3\\_1.JPG](http://CDNI.WIRED.CO.UK/1240X826/A_C/BQ3_1.JPG)

FIG.13\_ [HTTP://WWW.ACHIMMENGES.NET/ICD-IMAGEDB/FAZ\\_PAVILION.JPG](http://WWW.ACHIMMENGES.NET/ICD-IMAGEDB/FAZ_PAVILION.JPG)

FIG.14\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/SELF-HEATING-HOUSE/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/SELF-HEATING-HOUSE/)

FIG.15\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/CRYSTAL-CLEAR-SOLAR-CELLS/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/CRYSTAL-CLEAR-SOLAR-CELLS/)

FIG.16\_ [HTTP://TUPLANETAVITAL.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2014/09/RICHARDLUNT\\_DSC9083SS.PNG](http://TUPLANETAVITAL.ORG/WP-CONTENT/UPLOADS/2014/09/RICHARDLUNT_DSC9083SS.PNG)

FIG.17\_ [HTTP://I.YTIMG.COM/VI/VXQ4YTPXXZA/MAXRESDEFAULT.JPG](http://I.YTIMG.COM/VI/VXQ4YTPXXZA/MAXRESDEFAULT.JPG)

FIG.18\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/THERMOFORMABLE-BIO-PLASTIC-DEVELOPED/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/THERMOFORMABLE-BIO-PLASTIC-DEVELOPED/)

FIG.19\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/DESIGN-SPOTLIGHT-CURVED-](http://MATERIA.NL/ARTICLE/DESIGN-SPOTLIGHT-CURVED-)

CONCRETE/

FIG.20\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/CONCRETE-FLEX/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/CONCRETE-FLEX/)

FIG.21\_ [HTTP://WWW.IAACBLOG.COM/MAA2013-2014-DIGITAL-MATTER-INTELLIGENT-CONSTRUCTIONS/2014/06/HYDROCERAMIC/#MORE-673](http://WWW.IAACBLOG.COM/MAA2013-2014-DIGITAL-MATTER-INTELLIGENT-CONSTRUCTIONS/2014/06/HYDROCERAMIC/#MORE-673)

FIG.22\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/RAIN-CHANGE-CONCRETE/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/RAIN-CHANGE-CONCRETE/)

FIG.23\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/WALLSMART-INTERACTIVE-PAINT/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/WALLSMART-INTERACTIVE-PAINT/)

FIG.24\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/ART-MAGNETISM/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/ART-MAGNETISM/)

FIG.25\_ [HTTP://MATERIA.NL/ARTICLE/DRAWING-AIR/](http://MATERIA.NL/ARTICLE/DRAWING-AIR/)

FIG.26\_ [HTTP://MATERIA.NL/MATERIAL/TREEPLAST/](http://MATERIA.NL/MATERIAL/TREEPLAST/)

