



Instituto Universitário de Lisboa

**Escola de Tecnologias e Arquitetura
Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Mestrado Integrado em Arquitetura**

David João Nunes Dias

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

Comportamento Acústico de espaços multiusos

Um caso de Estudo no ISCTE-IUL

Orientador

Doutor, Vasco Moreira Rato, Professor Associado, ISCTE-IUL

Reconversão Urbana Vila Nova da Rainha, Azambuja

Orientador

Doutor, Pedro Luz Pinto, Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

Outubro, 2018

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor Pedro Pinto pela dedicação, sugestões e desafios colocados, por um ano completo de aprendizagem e evolução.

Ao Professor Vasco Rato, pelo desafio de poder desenvolver um trabalho prático numa área que desde sempre me despertou um grande interesse, pelo apoio incondicional e orientação na abordagem ao tema.

Ao Professor Guilherme Carrilho da Graça da FCUL por todas as explicações que permitiram chegar a uma solução possível de executar.

À Rita, por nunca ter deixado de acreditar mesmo nos momentos mais difíceis, pela disponibilidade, amizade e apoio incondicional.

A toda a minha família, em especial aos meus pais e irmão que desde o primeiro dia estiveram disponíveis para ajudar em tudo o que fosse necessário e acreditaram na conclusão deste percurso, por vezes mais do que eu.

Aos meus colegas de grupo, Rita Mansinho e Inês Fernandes, pois sem elas seria impossível ter tornado este trabalho possível. Por todas as conversas, discussões e partilhas de ideias.

Aos meus amigos de sempre por me fazerem pensar noutros assuntos, em especial ao Gonçalo por estar sempre presente e desviar as minhas atenções para outros temas quando tal parecia impossível.

R E S U M O

O comportamento acústico de diferentes espaços está relacionado com a utilização dos mesmos. A utilização de vários materiais irá influenciar não só a acústica, mas também a sua ocupação, uma vez que estes podem ter características que não se adequam às atividades a desempenhar.

A Sala de Exposições do Edifícios 2 do ISCTE-IUL é um elemento de estudo bastante complexo, uma vez que é necessária a introdução de materiais bastante porosos e pouco resistentes mecanicamente, dificultando a sua implementação e comprometendo a utilização do espaço. Deste modo, o trabalho desenvolvido estuda uma série de soluções possíveis na tentativa de encontrar a que melhor se adequa ao espaço, reduzindo ao máximo o impacto na arquitetura existente e garantindo o melhor conforto acústico possível dentro da legislação em vigor.

Foram realizadas 14 soluções construtivas modeladas com recurso ao software Archicad e posteriormente analisadas pelo Ecotect para garantir a sua qualidade acústica. Em função das qualidades dos materiais propostos estes são implementados em diferentes áreas tentando retirar o máximo rendimento de cada um deles.

Os resultados obtidos mostram a importância da utilização de absorção acústica em diferentes cotas, sendo bastante evidente a diminuição de conforto quando esta é feita em exclusivo a cotas mais elevadas. É possível também compreender que os materiais utilizados têm de ser aplicados em locais específicos para poderem ser preservados, pois a resistência ao impacto dos mesmos é bastante baixa.

Palavras-Chave:

Tempo de reverberação; Conforto acústico; Acústica de interiores.

ABSTRACT

The acoustic behavior of different spaces is related to their use. The use of various materials will not only influence acoustics, but also its occupation, since they may have characteristics that do not fit the activities to be performed.

The Exhibition Hall of ISCTE-IUL Buildings 2 is a very complex element of study, since it is necessary to introduce very porous and mechanically poor materials, making them difficult to implement and compromising the use of space. In this way, the work developed studies a series of possible solutions in the attempt to find the one that best suits the space, reducing as much as possible the impact on the existing architecture and ensuring the best acoustic comfort possible under current legislation.

14 constructive solutions were developed using Archicad software and subsequently analyzed by Ecotect to ensure its acoustic quality. Due to the qualities of the proposed materials these are implemented in different areas trying to extract the maximum yield of each of them.

The results obtained show the importance of the use of an acoustic absorption at different levels, being very evident the decrease in comfort when this one is done in exclusive in higher levels. It is also possible to understand that the materials used have to be applied at specific locations in order to be preserved because the resistance to impact is quite low.

Palavras-Chave:

Reverberation time; Acoustic comfort; Interior acoustics.

Vertente Teórica

ÍNDICE

Vertente Teórica

Introdução	1
Som, Materiais e Soluções	
Acústica	2
Acústica de Interiores	7
Reabilitação Acústica de Edifícios	12
Materiais, Produtos e Soluções	16
Ferramentas de Simulação Acústica	19
Casos de Estudo, Exemplos	
Pierre-Boulez-Saal, Berlim, Alemanha	21
Elbphilharmonie Hamburg, Grosser Saal, Hamburgo, Alemanha	22
Sala de Exposições, Edifício 2 ISCTE-IUL	
Apresentação do Caso de Estudo	23
Projeto de Reabilitação, Soluções e Resultados	25
Comparação de Resultados	40
Conclusões	44
Bibliografia	46
Vertente Prática	49

ÍNDICE DE IMAGENS

<i>Imagem 1</i> - Mapa de ruído da Cidade de Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa, 2017	6
<i>Imagem 2</i> - Corte Boulez-Saal, Nagata Acoustics 2017	21
<i>Imagem 3</i> - Fotografia Boulez-Saal, Nagata Acoustics 2017	21
<i>Imagem 4</i> - Corte Elbphilharmonie, Nagata Acoustics 2017	22
<i>Imagem 5</i> - Fotografia Elbphilharmonie, Nagata Acoustics 2017	22
<i>Imagem 6</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	23
<i>Imagem 7</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	23
<i>Imagem 8</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	24
<i>Imagem 9</i> - Reflexão do som, Sala de Exposições, autor 2018	24
<i>Imagem 10</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	26
<i>Imagem 11</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	26
<i>Imagem 12</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	27
<i>Imagem 13</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	27
<i>Imagem 14</i> - Akusto Wall C, Saint-Gobain	28
<i>Imagem 15</i> - Akusto Wall C, Saint Gobain	28
<i>Imagem 16</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	29
<i>Imagem 17</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	29
<i>Imagem 18</i> - AlphaWedge Foam, Acoustical Solutions	30
<i>Imagem 19</i> - AlphaWedge Foam, Acoustical Solutions	30
<i>Imagem 20</i> - AlphaMax Anechoic Wedge Foam, Acoustical Solutions	31
<i>Imagem 21</i> - AlphaMax Anechoic Wedge Foam, IAC Acoustics	31

<i>Imagem 22</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	33
<i>Imagem 23</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	33
<i>Imagem 24</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	34
<i>Imagem 25</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	34
<i>Imagem 26</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	35
<i>Imagem 27</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	35
<i>Imagem 28</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	36
<i>Imagem 29</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	36
<i>Imagem 30</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	37
<i>Imagem 31</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	37
<i>Imagem 32</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	39
<i>Imagem 33</i> - Render Sala de Exposições, autor 2018	39
<i>Imagem 34</i> - Tempos de Reverberação Soluções	40

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

<i>Equação 1</i> - Período, T	3
<i>Equação 2</i> - Tempo de reverberação para salas em edifícios escolares	10
<i>Equação 3</i> - Tempo de reverberação	10

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1</i> - Velocidade de propagação do som	2	<i>Tabela 18</i> - Tempos de Reverberação Solução D	28
<i>Tabela 2</i> - Atenuação Sonora por km	3	<i>Tabela 19</i> - Tempos de Reverberação Solução E	29
<i>Tabela 3</i> - Tipos de Sons e respetivas Frequências	3	<i>Tabela 20</i> - Tempos de Reverberação Solução F	30
<i>Tabela 4</i> - Classificação dos locais para implantação de edifícios (Fernanda, Garcia e Raquel, 2008)	5	<i>Tabela 21</i> - Tempos de Reverberação Solução G	31
<i>Tabela 5</i> - Isolamentos de paredes exteriores, Índices de condução aérea e de percussão em diferentes tipos de edifícios (Fernanda, Garcia e Raquel, 2008)	8	<i>Tabela 22</i> - Tempos de Reverberação Solução H	32
<i>Tabela 6</i> - Diferença temporal entre som directo e primeira reflexão (Wheeler, 2014)	9	<i>Tabela 23</i> - Tempos de Reverberação Solução I	33
<i>Tabela 7</i> - Tempos de reverberação (Tr) em edifícios escolares (Fernanda, Garcia e Raquel, 2008)	10	<i>Tabela 24</i> - Tempos de Reverberação Solução J	34
<i>Tabela 8</i> - Coeficiente de absorção sonora dos materiais (Wheeler, 2014)	11	<i>Tabela 25</i> - Tempos de Reverberação Solução L	35
<i>Tabela 9</i> - Isolamento médio de janelas (Silva, da, 2001)	13	<i>Tabela 26</i> - Tempos de Reverberação Solução M	36
<i>Tabela 10</i> - Coeficientes absorção acústica isolamentos	16	<i>Tabela 27</i> - Tempos de Reverberação Solução N	37
<i>Tabela 11</i> - Coeficientes absorção portas e janelas	17	<i>Tabela 28</i> - Tempos de Reverberação Solução O	38
<i>Tabela 12</i> - Coeficiente Absorção Gesso Acartonado	18		
<i>Tabela 13</i> - Coeficiente de Absorção Esponja Acústica	18		
<i>Tabela 14</i> - Tempos de Reverberação Sala de Exposições Edifício 2	24		
<i>Tabela 15</i> - Tempos de Reverberação Solução A	25		
<i>Tabela 16</i> - Tempos de Reverberação Solução B	26		
<i>Tabela 17</i> - Tempos de Reverberação Solução C	27		

INTRODUÇÃO

O presente trabalho integra-se num exercício de Projecto Final de Arquitetura do Mestrado Integrado do ISCTE-IUL, sob a forma de investigação teórica, com o título Reabilitação Acústica de Edifícios: Um caso de estudo no ISCTE-IUL, pretendendo encontrar uma solução para a reabilitação acústica da Sala de Exposições do Edifício 2 do campus.

A escolha do tema é motivada pela vontade de encontrar uma solução viável para o problema apresentado, pois o espaço já mencionado carece de grandes necessidades de reabilitação acústica, uma vez que é desconfortável a permanência no mesmo dificultando a percepção correta do discurso.

Como o objetivo é proporcionar conforto acústico dentro da sala já referida, este trabalho aborda uma série de temas que vão ao encontro das necessidades existentes. A colocação dos parâmetros acústicos do espaço dentro da legislação aprovada posteriormente à construção do edifício é o ponto mais importante a ser atingido.

Para concretizar os objetivos propostos o trabalho parte da análise do comportamento do som e da percepção do ouvido humano, compreendendo o funcionamento de ambos e de que forma os dois vão coexistir. Posteriormente, a análise acústica de interiores correspondente aos decretos de lei em vigor que têm de ser respeitados, analisando as suas limitações ao exercício da reabilitação. A reabilitação interior de edifícios, em muitos casos, está diretamente relacionada com o seu isolamento do meio exterior; esses elementos e soluções são explorados neste trabalho, de modo a serem compreendidas não só a importância da acústica no espaço interior, como também a sua relação com o exterior. Os materiais escolhidos para a realização de uma obra têm impacto direto não só na estética do edifício, como no comportamento acústico, por isso as soluções adotadas são de extrema importância para o conforto necessário, existindo várias soluções disponíveis, todas com objetivos diferentes.

Para uma melhor aproximação à realidade nos resultados obtidos, o recurso a ferramentas de simulação acústica é de extrema importância na obtenção dos resultados, pois o som, consoante os elementos que encontra, é absorvido ou refletido, sendo difícil prever a sua propagação, podendo levar a erros de aplicação dos materiais. Os exemplos apresentados são de extrema importância para análise e comparação das soluções a serem tomadas, pois o desenho trabalhado em confluência com os materiais aplicados permite a estes projetos terem condições acústicas adequadas para as suas atividades.

A sala de exposições do edifício 2 do ISCTE-IUL não tem as melhores soluções construtivas para proporcionar conforto acústico aos seus ocupantes. Os materiais utilizados na mesma são, em grande maioria, bastante deficientes na sua capacidade de absorção sonora. Como tal, o trabalho elaborado centra-se na simulação de várias soluções tentando encontrar a mais viável para a melhoria da qualidade acústica do espaço, incorporando novos materiais ou substituindo os existentes.

Acústica

O comportamento do som é cada vez mais importante no nosso dia-a-dia, pois os vários ruídos existentes afetam a forma como vivemos e experienciamos os diferentes espaços que habitamos.

O som tem um comportamento diferente consoante o meio em que se propaga, sendo que também a sua velocidade varia dependendo do material onde este incide. Por norma, só costumamos experienciar o som através da deslocação no ar, sendo a sua velocidade de 344 m/s, mas caso estejamos noutra meio a velocidade tende a aumentar, pois esta vai variar com a densidade do elemento. A tabela 1, mostra a velocidade do som em diferentes elementos.

Tabela 1 - Velocidade de propagação do som

Meio	Velocidade (m/s)
Ar	344
Água Doce	1481
Água Salgada	1500
Alumínio	5150
Betão	3400

O som apenas se propaga em meios físicos, não sendo possível a sua propagação no vazio. Apenas é possível a propagação de som na Terra devido à atmosfera que a compõe, uma vez que o ar é feito de pequenas partículas que irão vibrar e propagar as ondas sonoras.

A distância máxima que um dado som emitido consegue alcançar em nada está relacionado com a velocidade do mesmo, isto é, quando uma pessoa fala mais alto a mensagem enviada não chegará mais rapidamente ao recetor, apenas irá alcançar uma maior distância. O volume sonoro, energia com que o som é emitido, é medido em Decibel (dB) e à medida que o som vai percorrendo o espaço o seu volume vai diminuindo. A tabela 2 mostra a atenuação sonora por quilómetro para diferentes frequências.

Tabela 2 - Atenuação Sonora por km

Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Atenuação por km	0,4dB	1,3dB	2,7dB	4,7dB	9,9dB	30dB

As ondas sonoras têm um movimento harmónico, podendo ser comparado às ondas existentes no mar. Em ambas, o seu período, deslocação da onda no tempo, será proporcional ao inverso da frequência, ou seja:

$$T=1/f \quad (1)$$

Onde:

T: período (s);

F: frequência (Hz).

Desta forma, é possível observar que as ondas de menor frequência, ou seja os sons graves, têm um maior período, propagando-se mais facilmente no espaço do que as de maior frequência, correspondentes aos sons agudos.

As frequências de uma onda sonora são divididas em três tipos: graves, médios e agudos. A tabela 3 completa esta informação atribuindo o valor das frequências de cada tipo.

Tabela 3 - Tipos de Sons e respetivas Frequências

Tipo	Frequência (Hz)
Graves	20-400
Médios	400-1600
Agudos	1600-20000

As frequências das ondas sonoras não existem apenas entre 20 e 20 000Hz, mas sim em número infinito. O ouvido humano apenas consegue captar este espectro, sendo que as restantes compreendidas entre 0 e 20Hz são denominadas de Infra-Sons e as acima de 20 000Hz, Ultra-Sons. Outros animais existentes na terra têm a capacidade de captar estas frequências mais baixas ou mais elevadas, como é o caso dos cães. O seu ouvido tem particularidades diferentes do ser humano, aumentando o espectro sonoro audível.

O ouvido humano é composto por uma grande quantidade de elementos que permite às pessoas ouvir, sendo também parte bastante importante no equilíbrio do corpo.

Apesar de conseguir captar frequências entre os 20 e 20 000Hz o ouvido não tem a mesma sensibilidade para todas elas, sendo que o espectro verbal considerado entre 2500 e 3000Hz é onde este consegue otimizar melhor a informação recebida. À semelhança do resto do corpo humano, também os canais auditivos estão sempre à mesma temperatura, sendo que, caso existissem variações na mesma, a percepção do som seria completamente diferente.

As ondas sonoras chegam ao recetor em alturas diferentes consoante a localização do mesmo no espaço e a morfologia da sala onde se encontra. Às primeiras chamamos de som direto, pois para além de serem as primeiras a chegar permitem-nos identificar onde se situa a fonte de emissão. Nos 50 a 80 ms seguintes, chegam as ondas de som primário, resultantes da primeira reflexão; estas são essenciais para a compreensão de todo o discurso, pois o nosso cérebro vai complementá-las com as anteriores. Por último, as ondas seguintes são chamadas de som reverberante, que dão profundidade e dimensão ao espaço, permitindo ao recetor perceber qual a dimensão da sala em que se encontra.

O som reverberante pode ser considerado o mais importante dos três apresentados, pois este afeta de forma direta a compreensão de todo o discurso, devido ao intervalo de tempo com que chega ao recetor. É também necessário que esse mesmo tempo tenha um valor adequado ao uso a que o espaço é destinado, ou seja, uma sala de ópera não é igual a um auditório para discursos (Wheeler, 2014).

Qualquer som emitido que não tenha teor informativo é denominado de ruído, tornando-se assim numa sensação desagradável para o ouvinte que pode levar à degradação do sentido auditivo, piorando a qualidade de vida das pessoas.

Deste modo, o Decreto de Lei 96/2008 do Ministério do Plano e da Administração do Território, pretende regular o conforto acústico dos diferentes espaços, interiores e exteriores, baseando-se em valores tabelados quer por órgãos nacionais, bem como internacionais, levando a que exista uma política de combate ao ruído, melhorando a qualidade de vida.

São apresentados no Artigo 4º do Decreto-Lei acima mencionado os níveis de valores sonoros correspondentes aos diversos tipos de locais: pouco ruidosos, ruidosos e muito ruidosos. Esta classificação baseia-se em medições feitas num dado período de referência em que os valores do nível sonoro do ruído ambiente medido excedem valores de referência em 50% da duração daquele período (L50) (tabela 4).

Tabela 4 - Classificação dos locais para implantação de edifícios (Fernanda, Garcia e Raquel, 2008)

Locais pouco ruidosos	Locais que satisfaçam os seguintes níveis sonoros: L50 ≤65dB entre as 7 horas e as 22 horas e L50 ≤55dB entre as 22 horas e as 7 horas
Locais ruidosos	Locais que não estão contemplados na definição de locais pouco ruidosos e que satisfaçam os seguintes níveis sonoros: L50 ≤75dB entre as 7 horas e as 22 horas e L50 ≤65dB entre as 22 horas e as 7 horas.
Locais muito ruidosos	Locais que não estão contemplados nas definições de locais pouco ruidosos e de locais ruidosos.

De acordo com a Tabela 4, ficam assim proibidos pelo Decreto-Lei 96/2008 a implantação de novas zonas residenciais ou de edifícios escolares e hospitalares em zonas cuja escala de ruído esteja entre os valores de locais ruidosos e locais muito ruidosos, sendo que existe a possibilidade, em casos excecionais, de este não ser aplicado, devendo sempre existir soluções que diminuam de forma significativa as fontes de ruído.

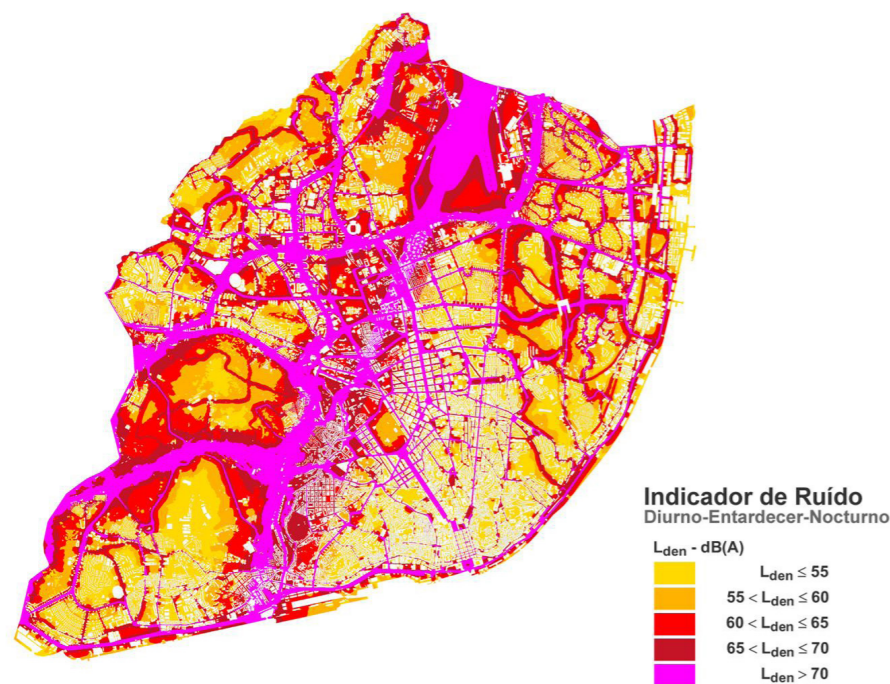


Imagem 1 - Mapa de ruído da Cidade de Lisboa (Câmara Municipal de Lisboa, 2017)

Acústica de Interiores

Quando é analisado ou projetado o espaço interior de um dado edifício existem vários fatores a ter em conta, sendo que do ponto de vista acústico as duas grandes áreas necessárias para uma melhor qualidade sonora são:

- O isolamento necessário para o exterior e entre compartimentos do mesmo edifício;
- A acústica interior do espaço para uma maior compreensão do discurso.

1. O isolamento necessário para o exterior e entre compartimentos do mesmo edifício.

A acústica interior dos edifícios está diretamente ligada ao exterior, pois estes necessitam de ter isolamento sonoro contra os ruídos existentes no exterior.

É possível observar que, em construções mais antigas, o isolamento sonoro na maior parte das vezes não é suficiente, pois as janelas não possuem vidros duplos e as paredes de alvenaria não têm caixa de ar nem outros materiais, que podem ser encontrados em edifícios mais recentes.

Todos os sons são transmitidos através de vibrações, quer sejam de um dado material ou simplesmente das partículas existentes no ar. Quando analisamos a acústica de edifícios, temos de separar os sons em duas categorias diferentes: sons de condução aérea e sons de condução por percussão. Isto significa que os sons por condução aérea são todos aqueles que são transmitidos através do ar, como uma pessoa a falar, o ruído de um avião a passar ou o som que é emitido por equipamentos. Ao passo que os sons de condução por percussão são todos os que envolvem contacto de um objeto com outro, por exemplo o ruído de uma pessoa a caminhar na sua habitação que é sentido pelo vizinho de baixo. Para ambos existem necessidades de isolamento diferentes. Nos sons por condução aérea, teremos de ter isolamento sonoro nas paredes, pavimento e cobertura, para que estes não sejam sentidos com tanta intensidade noutros espaços. Já nos sons conduzidos por percussão muitas vezes a alteração do material de revestimento de uma dada superfície pode ser suficiente para diminuir significativamente o ruído (Silva, da, 2001).

O Capítulo III do Decreto de Lei 96/2008 é bastante rigoroso quanto aos isolamentos necessários e índices de condução sonora, quer o índice de condução de sons aéreos(I_a) e também o índice de condução por percussão(I_p), devendo para os diferentes tipos de edifícios serem respeitados os valores apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Isolamentos de paredes exteriores, Índices de condução aérea e de percussão em diferentes tipos de edifícios(Fernanda, Garcia e Raquel, 2008)

		R45 (dB)	I_a (dB)	I_p (dB/oit)
Habitação	Isolamento paredes exteriores	Pouco ruidosos ≥ 45 Ruidosos ≥ 30 Muito ruidosos ≥ 35		
	Entre quartos e zonas de estar de fogos do mesmo edifício		≥ 48	≤ 70
	Quartos e zonas de estar do mesmo fogo		≥ 40	
	Zonas comuns de edifícios com equipamentos coletivos		≥ 48	≤ 65
	Entre fogos e locais de serviços, industriais, comércio ou espetáculos		≥ 55	≤ 55
Escolares	Isolamento paredes exteriores	≥ 35		
	Entre compartimentos		≥ 55	≤ 70
Ensino de deficientes auditivos	Isolamento paredes exteriores	≥ 35		
	Entre compartimentos		≥ 45	≤ 60
Hospitalares e semelhantes	Isolamento paredes exteriores	≥ 30		
	Permanência de doentes em relação a zonas comuns		≥ 50	≤ 60
	Observação ou permanência de doentes		≥ 45	≤ 60
	Blocos operatórios, cuidados intensivos e blocos de partos		≥ 55	≤ 55

O desenho de cada espaço está directamente relacionado com a qualidade acústica do mesmo, pelo que, existindo duas salas com os mesmos materiais, número de pessoas e volume, basta que o desenho seja diferente para que uma tenha um melhor comportamento acústico em relação a outra.

2. A acústica interior do espaço para uma maior compreensão do discurso.

Quando analisada a qualidade acústica de uma dada sala existem dois elementos do som com os quais tem de existir um especial cuidado: a primeira reflexão e o tempo de reverberação (Tr).

A reflexão do som é importante para a compreensão do discurso, pois vai reforçar a informação obtida através do som direto, mas é preciso ser controlada, pois quando em excesso pode ter o efeito contrário.

O som refletido pode tornar-se bastante desconfortável, pois retira grande parte da compreensão do discurso, criando ruído e tornando-se desconfortável para o ouvinte permanecer na sala; isto deve-se à capacidade que o cérebro humano tem de perceber sons recebidos em tempos diferentes. A diferença de tempo na receção do som direto e do refletido não deverá, nos casos gerais, ser superior a 1/30s.

Dependendo do objetivo de cada espaço, a diferença temporal entre o som direto e a primeira reflexão vai ajudar a existir uma melhor percepção da mensagem que é transmitida. Assim, para os diferentes sons, a tabela 6 indica quais os valores padrão para uma melhor compreensão.

Tabela 6 - Diferença temporal entre som directo e primeira reflexão (Wheeler, 2014)

Tipo de som	Δt (ms)
Discurso	50
Música Calma	80
Sala de Ópera	20

Embora estes valores sejam superiores a 1/30s, à exceção da sala de ópera, o nosso cérebro tem a capacidade de juntar ambos os sons, pois a velocidade a que chega a informação não é rápida, quando comparada, por exemplo, com música rock.

O tempo de reverberação está diretamente ligado ao som refletido, uma vez que para este existir tem de haver reflexão, caso contrário apenas o som direto chegaria ao ouvinte. Este tempo vai ter diversas variações consoante o desenho dos espaços e para o que estes são destinados. O tempo de reverberação demasiado elevado tem, normalmente, um efeito bastante negativo na acústica do espaço, isto porque acaba por se transformar em eco. Segundo o ponto 3 do Artigo 7º do Decreto de Lei 96/2008, em edifícios escolares os tempos de reverberação devem respeitar os valores indicados na tabela 7.

Tabela 7 - Tempos de reverberação (Tr) em edifícios escolares
(Fernanda, Garcia e Raquel, 2008)

Tipo de compartimento	Tr para 500 Hz ≤ f < 2000 Hz
Salas de aula teórica, Refeitórios, Ginásios	Tr ≤ 0,15V ^{1/3} s
Salas com recurso a sistemas auxiliares de transmissão sonora.	Tr ≤ 0,12V ^{1/3} s

O cálculo do tempo de reverberação RT (s) para salas em edifícios escolares é dado pela expressão 2:

$$RT = 0,15V^{1/3} \quad (2);$$

Onde:

V: Volume da sala (m³).

O som reverberante é mais facilmente absorvido quando um dado espaço está ocupado, pelo que o número de pessoas existentes no mesmo terá influência direta na qualidade do som e no comportamento acústico da sala, mas não pode ser projetado um espaço acústico com base no pressuposto da ocupação, pois essa será sempre variável.

Independentemente do propósito existente no desenho de um espaço, o som reverberante irá ser sempre a principal componente do conjunto de todos os sons, isto porque a diferença temporal na sua chegada ao recetor pode ditar a diferença entre este reforçar o som direto, e por isso contribuir para uma maior clareza do que é ouvido, ou tornar-se em ruído, retirando essa percepção e dando a ideia de existir eco.

Considerando uma sala desenhada para discursos, o tempo de reverberação do som deve ser entre 0,4 e 1s, para um volume entre 0 e 3000 m³ respetivamente.

O tempo de reverberação, RT (s), de um dado espaço pode ser facilmente calculado com o recurso a poucos dados, através da expressão 3:

$$RT = K V/A \quad (3)$$

Onde:

K: constante 0,161;

V: Volume do espaço (m³);

A: Área de absorção sonora equivalente (m²) (somatório das diferentes áreas do espaço multiplicadas pelo respetivo coeficiente de absorção do material).

Esta expressão permite determinar o tempo de reverberação de um qualquer espaço, garantindo que o mesmo satisfaça os regulamentos aplicáveis.

Tabela 8 - Coeficiente de absorção sonora dos materiais
(Wheeler, 2014)

Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Betão armado sem acabamento	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Betão armado com acabamento	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Janela	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Painel de madeira	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
Cortina leve	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina pesada	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Marmorite	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Soalho	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Tapete sobre betão	0,02	0,06	0,14	0,37	0,60	0,65
Tapete sobre madeira	0,08	0,24	0,57	0,69	0,71	0,73
Isolamento acústico suspenso	0,76	0,93	0,83	0,99	0,99	0,94
Isolamento acústico em betão	0,14	0,20	0,76	0,79	0,58	0,37
Gesso acartonado	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09

Reabilitação Acústica de Edifícios

O nível de ruído existente nas cidades tem vindo a ser cada vez maior ao longo dos últimos anos o que contribui para a perda de qualidade de vida das populações. A vida cada vez mais atribulada das pessoas conduz a este aumento, sendo também o crescimento exponencial do parque automóvel influenciador dos resultados apresentados na imagem 1.

O número de automóveis existentes em Portugal tem vindo a aumentar, contabilizando no início de 2015 um total de 5 747 500 em que dos quais mais de 80% têm idade superior a 5 anos produzindo um nível de ruído superior aos mais recentes, sendo possível observar que os maiores níveis de poluição sonora da cidade encontram-se nas vias de circulação automóvel. (ACAP, 2014)

Em território Nacional dois terços dos edifícios construídos são anteriores a 1981, ou seja, anteriores à legislação em vigor para o conforto acústico, pelo que destes, grande parte, não tem qualquer medida de isolamento aplicada. (INE - Instituto Nacional de Estatística, 2015)

A reabilitação acústica dos edifícios deve partir não só das remodelações interiores que estes sofrem, como das características do espaço exterior, de forma a assegurar a diminuição do ruído existente no interior dos edifícios. A utilização de elementos verdes, como árvores, contribui para um enorme melhoramento do isolamento acústico dos espaços próximos às vias de circulação automóvel. Ou seja, não deve ser simplesmente equacionado a reabilitação interior de uma habitação, mas sim o conjunto total do espaço interior e exterior para um melhor resultado de boas condições acústicas.

No que diz respeito à reabilitação acústica de um edifício existem vários elementos que constituem o mesmo a ter em conta:

Janelas

As janelas devido às várias funções que a caracterizam torna-se num elemento bastante complexo. Os materiais que são utilizados para a construção deste objecto não garantem, em proporção, um bom isolamento acústico, pelo que tem de existir uma especial atenção no modo como estes são aplicados e na solução construtiva utilizada. As frinchas existentes entre os vários elementos devem garantir o máximo de isolamento. A utilização de materiais como lã mineral e vedantes resilientes contribuem para um bom isolamento desses espaços, reduzindo as vibrações existentes no material e por isso também o som que através deles se propaga.

A grande dificuldade de isolamento de uma janela são as peças que têm movimento em relação a outras, como o caixilho e o aro. Para existir um bom isolamento sonoro nestes elementos devem ser utilizadas mangas de borracha que garantam a estanquicidade em relação ao exterior, bem como anilhas de material resiliente que absorva ao máximo as vibrações existentes nas ferragens.

O material escolhido para a construção do caixilho também tem uma relação directa com a qualidade do isolamento sonoro da janela, sendo que quando este não ultrapassa 30% da área total de abertura pode-se utilizar a seguinte regra:

Tabela 9 - Isolamento médio de janelas (Silva, da, 2001)

R≤35dB	Aros e caixilhos de madeira, com espessura de 0,055m a 0,060m, elementos metálicos ou de plástico, simples.
30<R≤40dB	Aros e caixilhos de madeira, com espessura superior a 0,075m, elementos metálicos com isolamento térmico.
40<R≤50dB	Janelas duplas, com aros de massa elevada.
R>50dB	Separação total entre duas janelas, por forma a evitar propagação de ruído através dos elementos estruturais de apoio.

Portas

A utilização de portas duplas é bastante incomum e na maioria dos casos só pode ser observada em locais que requerem uma optimização do espaço a nível acústico como auditórios, salas de cinema e salas de espectáculos. Em certa parte as portas têm comportamentos semelhantes às janelas, é necessário o correcto isolamento das frinchas existentes, sem esquecer a inferior que contribui bastante para o melhoramento do conforto térmico e acústico, bem como para a não propagação de chamas ou fumo em caso de incendio. A principal vantagem deste elemento em relação ao referido anteriormente é o facto de ser opaco, assim as soluções de materiais existentes são muito superiores, permitindo um isolamento sonoro entre 15 a 40dB em portas simples.

Coberturas

A cobertura de um edifício tem um papel bastante importante no isolamento sonoro, pois impede grande parte dos sons por condução aérea de serem sentidos no interior do mesmo. Um avião comercial a passar por cima de uma zona residencial perto do aeroporto (ex.: Campo Grande) emite um ruído de 140dB, ou seja, praticamente duas vezes o nível médio emitido pelo tráfego rodoviário, o que nos transmite a necessidade de existir uma solução construtiva eficaz para a resolução destes problemas.

A construção de um edifício utilizando uma cobertura plana com laje maciça, consegue cumprir os requisitos mínimos de conforto acústico, mas caso o mesmo esteja situada numa zona de ruído elevado como a mencionada anteriormente o seu comportamento já não é satisfatório, podendo ser necessário o recurso a tetos falsos dentro da habitação para um melhor isolamento. Para garantir uma melhor resolução do problema deverá ser utilizado um material de isolamento sonoro, como a cortiça, entre a laje e o teto falso, suportado por elementos metálicos com juntas em material resiliente, deste modo existirá uma diminuição das vibrações, reduzindo de forma significativa o ruído dentro do espaço.

Pavimentos

O isolamento sonoro dos entre dois pisos num edifício pode conseguir-se através de dois sistemas distintos, em tudo relacionados com o propósito do mesmo.

Caso seja necessário a instalação de condutas de ventilação ou calhas para sistemas técnicos, pode-se optar por um sistema de teto falso, uma vez que este já irá ser utilizado nos elementos mencionados. Assim teremos um sistema composto por um suspensor com juntas resilientes (evitando a condução sonora pela vibração dos materiais) e dois painéis de gesso com isolamento sonoro no meio, podendo também ser acrescentado algum isolamento térmico na caixa de ar, reforçando o bom comportamento acústico e o conforto térmico. Esta solução construtiva permite reduzir os sons por condução aérea e por percussão.

O segundo sistema construtivo baseia-se na implantação de um soalho flutuante no piso superior, este irá reduzir o ruído por condução aérea, mas poderá aumentar o ruído conduzido por percussão, dependendo do tipo de calçado utilizado pelas

peças que habitam o espaço.

A utilização de soalho flutuante tem também uma sobrecarga maior na estrutura do edifício, pois a densidade do material é superior à do conjunto utilizado no teto falso.

Em muitos edifícios mais antigos é possível observar a utilização de alcatifas no soalho, o que confere um melhor conforto térmico ao espaço e também reduz significativamente o ruído transmitido para os pisos inferiores devido à elasticidade do material. Por outro lado, esta solução é um bocado inestética, ainda que bastante mais em conta que as anteriores.

Paredes divisórias

Numa parede divisória a solução a aplicar-se é bastante simples, consistindo numa duplicação da mesma utilizando materiais que reduzam a vibração, como nas outras soluções apresentadas é necessário reduzir ao máximo as ligações rígidas.

O sistema construtivo utilizado é composto por apoios com juntas resilientes para uma placa de gesso em que o enchimento da caixa de ar é feito com isolamento sonoro (placas de cortiça) garantindo uma melhoria significativa no isolamento e nos sons refletidos dentro do espaço.

Materiais, Produtos e Soluções

Os materiais utilizados na construção de um dado edifício ou espaço têm um impacto direto na sua acústica e uma simples alteração, que a nível estético tem a mesma finalidade pode implicar grandes mudanças no conforto acústico. Como tal, é necessário avaliar sempre as diferentes propriedades dos materiais, garantindo a qualidade do espaço em todos os níveis e não só estética ou estruturalmente.

No mercado existem várias soluções para a construção de espaços acusticamente confortáveis, garantindo aos arquitetos vários produtos com os quais trabalhar. Como referido anteriormente, existe uma grande diferença nos coeficientes de absorção sonora dos materiais, fazendo com que nem todos sejam eficientes nesse aspeto.

Quando a finalidade é o isolamento acústico de um edifício, em relação ao ruído exterior, a solução mais comum, e que também pode ser considerada a melhor, é a incorporação de material de absorção acústica nos elementos da envolvente. Grande parte destes materiais podem também ser incorporados à vista com o objetivo de reduzir o tempo de reverberação. Como referido, existem vários materiais que podem ser utilizados para a mesma solução construtiva; neste caso os mais comuns são cortiça ou lã de rocha. Cada um destes materiais apresenta comportamentos diferentes do ponto de vista acústico (tabela 10). O Ecophon será sempre indicado para soluções à vista, pois a sua aparência é semelhante ao gesso cartonado; todavia, não tendo a mesma rigidez que aquele, é necessário algum cuidado com a aplicação.

Tabela 10 - Coeficientes absorção acústica isolamentos

Frequência(Hz)	250	500	1000	2000	4000
Cortiça	0,40	0,65	0,35	0,35	0,30
Lã de Rocha	0,46	0,83	0,99	1,00	0,97
Ecophon Master F 60mm	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00
Ecophon Akusto Wall C	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00

Na mesma medida que o isolamento utilizado nas paredes tem uma grande importância na qualidade acústica do edifício, também as janelas e portas garantem que o conforto do mesmo se mantenha, como tal a solução escolhida é de extrema importância na sua construção. O vidro por si só não é um bom isolante acústico, pois o seu coeficiente de absorção é bastante baixo, mas uma vez que o som se propaga por vibração, quando esta é reduzida podemos garantir uma boa capacidade de isolamento para o exterior, bem como a utilização de vidros duplos tem um benefício bastante acrescido. Quando existem grandes vãos, não só o isolamento para o exterior tem de ser garantido, mas por vezes mais importante é conseguir reduzir o tempo de reverberação interior. Como tal, à semelhança da incorporação de materiais absorsores em paredes, podem ser utilizadas soluções que garantam a absorção do som a nível interior. A tabela seguinte faz essa comparação e é possível observar diferenças significativas.

Tabela 11 - Coeficientes absorção portas e janelas

Frequência(Hz)	250	500	1000	2000	4000
Janela de vidro simples	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03
Janela de vidro duplo	0,30	0,18	0,10	0,05	0,05
Porta com dois painéis de madeira	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10
Porta de absorção acústica com caixa de ar	0,35	0,39	0,44	0,49	0,54

Numa época em que as soluções construtivas têm vindo a evoluir bastante, não podem ser postos de parte os elementos que têm surgido no mercado tendo em vista a construção pré-fabricada. Uma vez que os edifícios, atualmente, tendem a ser cada vez mais versáteis, é importante analisar com rigor e ter em especial consideração as divisórias feitas com gessos cartonados. Estes materiais têm bastantes benefícios pela versatilidade de construção permitida. Os coeficientes de absorção acústica destes elementos são bastante elevados, o que permite baixar de forma bastante considerável o tempo de reverberação de um dado espaço. A sua aplicação é bastante simples, podendo ser aplicado sobre materiais já existentes ou substituindo os mesmos. Os fabricantes por norma disponibilizam uma série de acessórios que facilitam a aplicação destes materiais, recorrendo a calhas ou apoios que mais tarde podem ser retirados com facilidade permitindo que o espaço ganhe uma configuração completamente diferente.

Nestes elementos, não é correto analisar de uma forma geral as propriedades únicas do material, pois estes têm comportamentos bastante diferentes dependendo da sua composição; como tal, têm de ser visto caso a caso, garantindo assim a melhor análise possível. A tabela seguinte mostra os coeficientes de absorção de diferentes materiais, sendo que todos os produtos são, como referido anteriormente, gessos acartonados. A grande vantagem destes materiais prende-se essencialmente com a absorção de frequências baixas, ou seja, sons graves, podendo ser combinados com outros materiais para garantir uma total absorção do som e um menor tempo de reverberação.

Tabela 12 - Coeficiente Absorção Gesso Acartonado

Frequência(Hz)	250	500	1000	2000	4000
Pladur Fon+ C12/25 n1 BA	0,90	1,00	0,90	0,75	0,65
Pladur Standart N 18	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05
Pladur Fon+ R15/30 n8 BA	0,65	0,70	0,60	0,50	0,45

Os materiais até agora apresentados são frequentemente utilizados por arquitetos quando projetam edifícios, pelo que permitem um melhor conforto acústico do espaço sem alterações estéticas ou de projeto, garantindo a liberdade de desenho e a possibilidade de praticarem boa arquitetura sem o entrave de, para existir uma boa qualidade acústica, terem de alterar de forma significativa as suas ideias. Contudo, existem soluções que garantem uma absorção muito mais elevada, apesar de não beneficiarem do valor estético das até agora apresentadas. As esponjas acústicas conseguem absorver a maior parte do som que nelas incide, reduzindo o tempo de reverberação de forma bastante significativa com uma pouca área de aplicação. Frequentemente, costumamos ver estes produtos nas salas de ensaios de músicos ou nos seus estúdios. Também é frequente a sua utilização em discotecas ou clubes de diversão, uma vez que possuem uma capacidade de absorção do som muito superior aos restantes materiais. O formato e desenho destes elementos acaba por condicionar bastante a estética do espaço, pois a sua textura é bastante característica e, consoante o seu desenho, a capacidade de absorção é maior ou menor.

Estes materiais têm ainda uma grande facilidade de aplicação pois, por serem bastante leves, podem simplesmente ser colados a qualquer superfície, embora seja necessária uma especial atenção à cota a que é aplicado, pois por serem bastante frágeis podem-se danificar com facilidade.

Tabela 13 - Coeficiente de Absorção Esponja Acústica

Frequência(Hz)	250	500	1000	2000	4000
AlphaMax Anechoic Wedge Foam	1,07	1,27	1,34	1,27	1,15
AlphaWedge Foam	1,03	1,28	1,25	1,17	1,14
Studiofoam Pro	0,49	1,11	1,00	0,97	1,01

Ferramentas de Simulação Acústica

Existem atualmente vários softwares que permitem simular o comportamento acústico de um dado espaço ou edifício. A utilização destes convém ser o mais compatível possível, pois por quantos mais programas o projeto passar, maior será a perda de informação do mesmo. Os dois grandes programas de modelação BIM (Building Information Modeling), Archicad e Revit, são compatíveis com a maior parte dos outros, pois permitem exportar o projeto numa grande variedade de modos. Entre outros benefícios que estes programas oferecem, existe a obrigatoriedade de num futuro bastante próximo todos os projetos terem de ser submetidos para aprovação municipal através desta plataforma, pelo que só facilita a sua utilização.

Neste trabalho, foram utilizados os seguintes softwares: Archicad para modelação do espaço e Ecotect Analysis para simulação da qualidade acústica.

O Archicad, como referido, é um software de modelação BIM, pelo que permite não só a construção virtual de todo o projeto, mas também a definição de todos os materiais e sistemas construtivos. A utilização deste programa permite, neste caso, fornecer mais informações do que um modelo 3D convencional. Os sistemas construtivos utilizados num determinado edifício têm um impacto direto na acústica do mesmo pois, como já referido, cada material tem o seu coeficiente de absorção acústica. Caso a modelação do edifício seja feita, por exemplo, em Google SketchUp, as informações existentes irão ser muito mais reduzidas, pois só serão contabilizados planos e não todos os detalhes existentes no projeto. No entanto, tem de existir um especial cuidado com a modelação do espaço, pois facilmente ocorrem erros que depois se podem refletir numa série de resultados errados. Existem atualmente várias diretrizes de como deve ser feita a modelação em softwares BIM, pois é possível a utilização de vários elementos diferentes para atingir o mesmo objetivo final levando posteriormente a uma grande discrepância nos vários projetos submetidos aos municípios. Como tal, o IPQ, Instituto Português de Qualidade, está a desenvolver um documento que estabelece todos os princípios de modelação nestes sistemas, uma vez que assim será mais fácil de homogeneizar todos os elementos entregues para aprovação. Quando o objetivo é a utilização destes softwares para posteriormente efetuar a simulação do conforto acústico de um edifício, não é necessário existir os mesmos cuidados quando um projeto é submetido para aprovação, apenas é necessário garantir que os elementos utilizados têm as mesmas características que serão utilizadas em construção. É extremamente importante que uma parede seja modelada como tal e não com o recurso a qualquer outro objeto que seja mais prático de utilizar, pois posteriormente o software vai dar erros e

impedir a exportação desses elementos.

Após a modelação de todo o espaço, é necessário exportar o projeto e nesse aspeto existem vários tipos de ficheiros possíveis. O mais comum e também melhor para ser utilizado é o IFC (Industry Foundation Classes), pois permite a partilha de informação sem perda de dados. Os ficheiros deste tipo mantêm todas as suas propriedades, reduzindo os erros ou perdas que possam existir na passagem dos mesmos, garantindo a conservação da informação mesmo quando diferentes softwares são utilizados.

Este ficheiro pode ser posteriormente importado para o Ecotect Analysis, onde será possível ter todo o projeto sem praticamente nenhuma perda de informação. Quando é importado um qualquer ficheiro para este software é necessário verificar se todas as informações estão corretas, pois independentemente do formato utilizado podem sempre existir algumas perdas ou conflitos de informação. É frequente existirem alguns erros nos materiais utilizados nos diferentes elementos, pois a biblioteca utilizada pelo Archicad não é a mesma a que o Ecotect faz recurso; deste modo, é necessário confirmar se estes estão corretos. Isto pode ser feito facilmente através da lista de elementos existentes no projeto ou no modelo de edição do programa, carregando em cima do elemento e posteriormente selecionando o material na barra de opções lateral direita. Este software tem algumas particularidades de edição que são bastante benéficas quando se faz projetos de acústica, pois permite selecionar todos os elementos com base nas suas propriedades, por exemplo, é possível selecionar todos os elementos que são compostos por um dado material e facilmente alterar o mesmo. Assim é possível de uma forma rápida e prática testar várias opções de materiais para o mesmo espaço. Depois de garantido que o projeto está completo, é necessário colocar a fonte ou fontes de emissão sonora e simular o trajeto que o som vai fazer no espaço. É possível, através do programa, observar onde o som vai refletir e qual a sua propagação através de linhas desenhadas e com uma escala de cores, indicando qual o tipo de som a que se referem: direto, primeira reflexão, reverberação ou eco. Juntamente com os gráficos e tabela de tempo de reverberação fornecidos, é possível fazer as alterações nos elementos necessários para atingir o objetivo.

O Ecotect não é unicamente um programa de simulação acústica, uma vez que tem bastantes mais funcionalidades que permitem o estudo de vários problemas necessários na construção de um edifício, como a exposição solar ou impacto ambiental dos materiais. A utilização desta ferramenta em conjunto com um software de modelação BIM podem de forma significativa melhorar as qualidades dos projetos, pois permitem que os arquitetos possam observar de uma forma simples e intuitiva vários parâmetros que muitas vezes apenas os engenheiros interpretam.

CASOS DE ESTUDO, EXEMPLOS

Pierre-Boulez-Saal, Berlim, Alemanha

O auditório Pierre-Boulez-Saal é um espaço desenhado pelo atelier de Frank Ghery e com projeto acústico da Nagata Acoustics. Localizado em Berlim, Alemanha, este auditório apresenta tempos de reverberação especialmente calculados para a atuação de artistas clássicos. Com o palco ao centro do espaço, permite que todos os espectadores recebam de igual forma o som emitido pelos instrumentos. Tratando-se de um edifício que outrora serviu a Berlin State Opera, o espaço que existia para o desenho era limitado, assim como as decisões que poderiam ser tomadas. Através de um revestimento de madeira quase total de todos os elementos é possível garantir a qualidade acústica do volume que ocupa 7 165 m³.

Com base na legislação portuguesa e tratando-se de uma sala que não utiliza o recurso a meios auxiliares de emissão de som, o seu tempo de reverberação deveria ser inferior ou igual a 2,89s, mas este projeto consegue obter valores de 1,9s quando não ocupado, fazendo uso do desenho da cobertura e da disposição da sala para uma absorção totalmente homogénea do som (Kdoo et al., 2017).

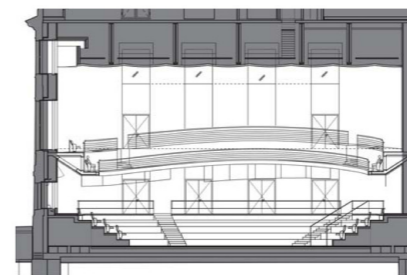


Imagem 2 - Corte Boulez-Saal, Nagata Acoustics 2017



Imagem 3 - Fotografia Boulez-Saal, Nagata Acoustics 2017

SALA DE EXPOSIÇÕES, EDIFÍCIO 2 ISCTE-IUL

Elbphilharmonie Hamburg, Grosser Saal, Hamburgo, Alemanha

O edifício da filarmónica de Hamburgo é provavelmente dos mais interessantes que existem a nível acústico, pois todo o seu desenho interior tem como objetivo otimizar as capacidades sonoras do espaço. Desenhado por Herzog & de Meuron, desde a escolha dos materiais aos vários balcões existentes, todas as curvas existem para enviar o som numa direção específica. Com 23 000 m³, conseguir tempos de reverberação indicados para o objetivo necessário é bastante complicado, pois o som tem muito espaço para percorrer e refletir. Através de revestimentos em painéis de gesso com formas microscópicas para absorção do som, é possível obter os tempos de reverberação necessários. No caso da filarmónica de Hamburgo, os valores são de 2,4s quando desocupado e 2,3 ocupado. Assim é possível assistir aos espetáculos com o maior conforto acústico possível (Meuron, 2017).

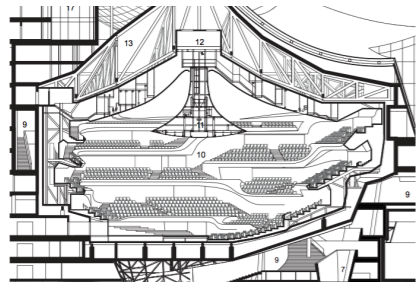


Imagem 4 - Corte Elbphilharmonie, Nagata Acoustics 2017

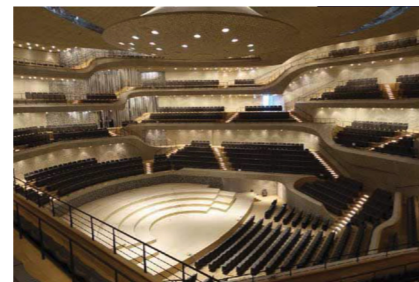


Imagem 5 - Fotografia Elbphilharmonie, Nagata Acoustics 2017

Apresentação Caso de Estudo

A sala de exposições do edifício 2 do ISCTE-IUL recebe por norma diversos tipos de atividades que necessitam de condições acústicas diferentes. Desde a receção de conferências às exposições feitas pelo curso de arquitetura, seria incoerente definir um propósito que esta servisse. As condições atuais desta sala não são de todo as melhores do ponto de vista acústico, pois os materiais existentes têm coeficientes de absorção sonora demasiado baixos para o volume construído. A sala é maioritariamente construída em betão, tendo também dois grandes planos em vidro e elementos pré-fabricados em MDF.

Como pode ser observado na tabela de coeficientes de absorção sonora, o betão tem uma capacidade de absorção do som bastante baixa, sendo que reflete a maior parte das ondas que nele incidem, isto por ser um material com uma densidade muito elevada não permitindo que vibre e absorva a energia transmitida pelo som. O mesmo problema pode ser encontrado no vidro, embora a sua capacidade de transmissão para o espaço adjacente seja superior, pois a espessura deste é mais reduzida do que a do betão. Apesar dos elementos existentes em MDF e tijolo, a sala de exposições do edifício 2 tem tempos de reverberação muito elevados, pois não tem uma dimensão suficiente para anular todas as reflexões causadas pelo betão

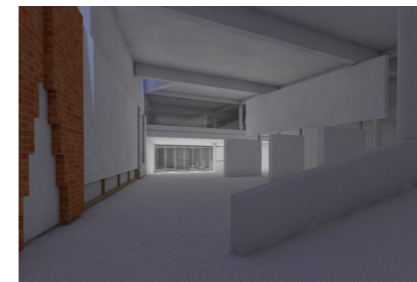


Imagem 6 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 7 - Render Sala de Exposições, autor 2018

e vidro. O MDF irá absorver só as frequências mais baixas, ou seja, os sons mais graves, pois estes conseguem fazer vibrar o material por terem um período maior comparado com os sons mais agudos.

O tempo de reverberação existente cria, assim, um grande desconforto para quem utiliza o espaço. A tabela abaixo mostra o resultado das simulações feitas em dois pontos da sala, resultando numa variação mínima dos tempos nos diversos sítios.

Tabela 14 - Tempos de Reverberação Sala de Exposições Edifício 2

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	4,17	4,40
1000	4,72	4,95
2000	4,94	5,12
Média	4,61	4,82



Imagem 8 - Render Sala de Exposições, autor 2018

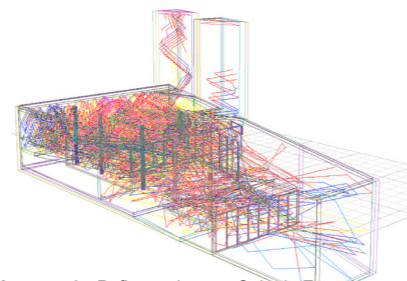


Imagem 9 - Reflexão do som, Sala de Exposições, autor 2018

De acordo com a expressão (2), para o volume da sala, o valor máximo admissível de RT é:

$$RT=0,15.1285^{1/3};$$

$$RT=1,63 \text{ s}$$

Como é possível constatar, os tempos de reverberação atuais da sala estão muito longe do que é o permitido por lei. O valor que é dado pela legislação portuguesa resulta num conforto acústico bastante suficiente para as utilizações existentes no espaço, sendo que se trata de uma sala polivalente com diversas atividades. O maior desafio será do ponto de vista arquitetónico conseguir incorporar soluções que permitam a diminuição do tempo de reverberação existente. As soluções a serem apresentadas têm de ter em conta o valor do espaço desenhado e as escolhas do arquiteto, pois só assim poderá manter-se o carácter do espaço e as ideias inicialmente definidas por quem o projetou.

Projecto de Reabilitação, Soluções e Resultados

Como referido no capítulo anterior, o desafio presente na conceção de soluções para a resolução do problema acústico da sala de exposições do edifício 2 do ISCTE-IUL é bastante dificultado pela morfologia da mesma e os materiais presentes, pelo que requer uma série de testes que em seguida são apresentados para chegar ao resultado pretendido.

Os resultados de seguida apresentados têm por base a utilização de materiais absorvedores acústicos já referidos anteriormente, bem como as respetivas soluções construtivas, desde a substituição integral de alguns materiais ao revestimento dos já existentes. É possível observar que a simples alteração entre revestimento ou substituição tem um impacto bastante significativo na qualidade acústica do espaço.

A. Retirar os elementos em MDF existentes

Esta solução tem como objetivo ver qual será a resposta da sala quando são retirados todos os elementos pré-fabricados (constituídos por MDF) da sala, criando um espaço totalmente amplo e garantindo que o som vai circular livremente por toda a sala. Assim é possível observar se estes elementos são prejudiciais, ou benéficos, à acústica.

Tabela 15 - Tempos de Reverberação Solução A

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	5,31	5,72
1000	3,87	4,29
2000	3,64	4,04
Média	4,27	4,68

É possível observar que existe uma grande diferença entre as frequências mais baixas, ou seja, os sons mais graves e as frequências mais altas, os sons médios e agudos. Isto porque as frequências médias e agudas propagam-se ao longo de menos tempo acabando por ser absorvidas mais rapidamente enquanto os graves mantêm-se mais tempo no espaço refletindo em mais locais da superfície da sala.

É possível concluir que esta solução tem um impacto benéfico nas frequências mais altas, diminuindo o tempo de reverberação das mesmas, mas no que diz respeito às frequências mais baixas o tempo de reverberação cresce em cerca de 25%, sendo mais desconfortável. Calculando a média, é possível observar que os tempos de reverberação são ligeiramente inferiores aos da solução existente, mas sem uma expressão significativa para a solução do problema.



Imagem 10 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 11 - Render Sala de Exposições, autor 2018

B. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por Pladur acústico

A utilização de Pladur com propriedades acústicas tem como objetivo aumentar a capacidade de absorção do som, quer nas frequências mais altas como nas baixas. Tratando-se de um gesso acartonado, tem uma maior flexibilidade que o MDF existente e claramente que o betão. Como já referido anteriormente, o som propaga-se através da vibração de partículas existentes no ar ou nos materiais. Assim o Pladur tem uma maior capacidade de transformar essa vibração, energia, em calor que é posteriormente dissipada.

Nesta solução, todos os elementos em MDF são substituídos por Pladur, incluindo o já existente teto falso da zona de pé direito mais reduzido, pois o existente não tem as propriedades acústicas necessárias ao pretendido. Deste modo, é possível obter os seguintes resultados.

Tabela 16 - Tempos de Reverberação Solução B

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	2,31	2,35
1000	1,33	1,36
2000	1,27	1,30
Média	1,64	1,67

É possível observar uma grande aproximação ao resultado pretendido ($RT = 1,63$ s), mas ainda é notável a grande diferença entre o tempo de reverberação das frequências altas e baixas. Esta grande diferença é explicada pelo já referido no ponto anterior: os sons graves propagam-se durante mais tempo pelo espaço pelo que, não existindo uma absorção muito elevada a uma cota mais baixa, esta tem de ser feita de forma homogênea ao longo do espaço. Nesta solução, os elementos absorsores existem só na parte inferior da sala, deixando intocável a parte superior junto ao teto, local onde estes sons continuarão a refletir contribuindo para o desconforto sentido pelos ocupantes.



Imagem 12 - Render Sala de Exposições, autor 2018

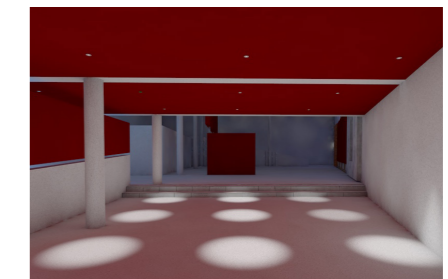


Imagem 13 - Render Sala de Exposições, autor 2018

C. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por Ecophon Akusto

O material aqui introduzido é semelhante ao utilizado anteriormente, podendo ser mantido à vista dada a sua apresentação. Por outro lado, tem uma resistência mecânica muito reduzida, não sendo por isso aconselhável a sua utilização em locais onde as pessoas possam facilmente tocar, correndo o risco de se deteriorar rapidamente. A aplicação de elementos com este material deve ser feita na maior parte dos casos em zonas acima da linha de visão dos ocupantes, tentando assim conservar ao máximo todas as suas propriedades, estéticas e mecânicas.

Nesta solução, é descartada a sua correta aplicação de modo a serem conseguidos os tempos de reverberação necessários ao conforto acústico do espaço. Com isto, é possível recolher informação que posteriormente será utilizada numa solução final com a aplicação correta dos materiais utilizados.

Quando são substituídos todos os elementos em MDF e o teto falso da zona mais baixa por Ecophon Akusto é possível a observação de uma melhoria substancial da acústica do espaço.

Tabela 17 - Tempos de Reverberação Solução C

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,30	1,55
1000	1,24	1,32
2000	1,22	1,29
Média	1,25	1,39

Os resultados apresentados permitem chegar à conclusão que este material, apesar de aplicado em exclusivo na zona de cota mais baixa da sala, garante a absorção de todas as frequências, criando uma homogeneidade em todos os tempos de reverberação e reduzindo os sons que se iriam alojar na parte superior do espaço.

Contudo, ainda existe uma diferença de 15% entre os sons emitidos no ponto 5 e 16, resultando da fraca capacidade de absorção do segundo, pois esta só é feita pelo teto falso, permitindo que o som continue a sua propagação pelo resto da sala.

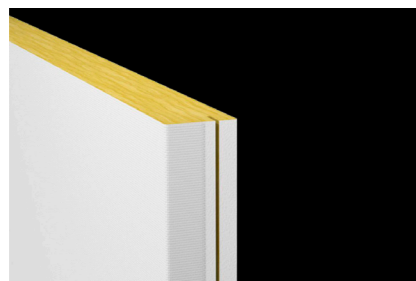


Imagem 14 - Akusto Wall C, Saint-Gobain

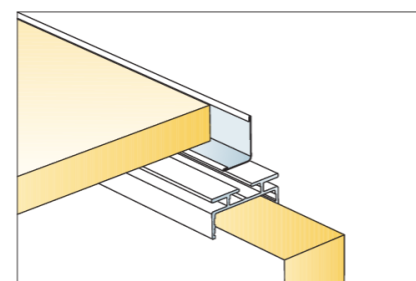


Imagem 15 - Akusto Wall C, Saint-Gobain

D. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por Ecophon Akusto acrescentando o mesmo em elementos suspensos

A introdução de placas absorvedoras suspensas constituídas por Akusto trazem um benefício acrescido à acústica da sala, mas o impacto que têm na arquitetura da mesma é bastante significativo, retirando em certas áreas a comunicação visual entre a zona da entrada superior e o espaço expositivo.

Tratando-se de um projeto de reabilitação acústica, os resultados abaixo apresentados são bastante satisfatórios para o conforto que seria sentido no espaço, mas não deve ser menosprezado o valor da arquitetura, sendo que, para boas práticas de Projecto, ambas as áreas introduzidas neste trabalho, arquitetura e acústica, devem coexistir em perfeita harmonia, tentando que o impacto mútuo seja o mínimo possível.

Tabela 18 - Tempos de Reverberação Solução D

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	0,93	0,96
1000	0,94	0,97
2000	0,94	0,97
Média	0,94	0,97

Os resultados apresentados mostram, em relação ao ponto anterior, que a introdução de elementos absorvedores numa cota mais alta tem um impacto bastante benéfico na absorção das frequências mais baixas, ou seja, os sons graves, homogeneizando os tempos de reverberação de todas as frequências e criando assim um maior conforto acústico em todo o espaço. Contudo, o custo de obra desta solução e também o já referido impacto arquitetónico acabam por determinar a sua inviabilidade prática. Também a resistência ao impacto que o material tem nas zonas mais baixas, à semelhança da solução anterior, contribuem em muito para que não seja possível considerar esta proposta.

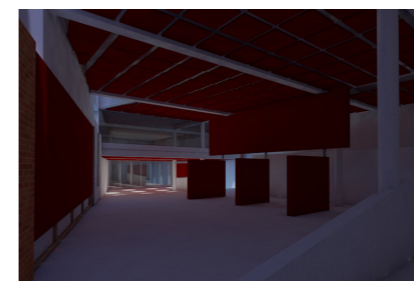


Imagem 16 - Render Sala de Exposições, autor 2018

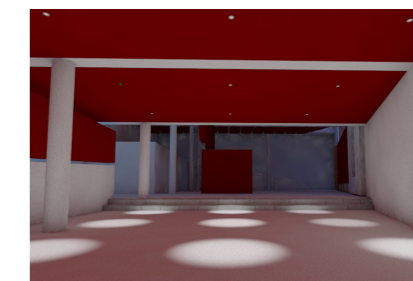


Imagem 17 - Render Sala de Exposições, autor 2018

E. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por AlphaWedge Foam

O material aqui utilizado permite uma absorção do som superior a todos os outros já antes utilizados; porém, tem grandes restrições na sua aplicação e no aspeto que configura ao espaço, levando a uma alteração completa da vivência do mesmo e nas sensações que os materiais existentes transmitem.

Como já referido anteriormente, o AlphaWedge é uma esponja acústica e assim, devido à sua grande porosidade, tem a capacidade de absorver grande parte do som que nele incide. O desenho e a aparência deste material contrastam com as suas capacidades, pois, se por um lado é um ótimo material do ponto de vista técnico, por outro, deixa muito a desejar do ponto de vista estético, pois a sua forma é bastante irregular e construída única e exclusivamente para retirar o melhor rendimento da sua capacidade de absorção.

Os resultados apresentados transmitem essa capacidade de absorção singular, como é possível observar na tabela abaixo.

Tabela 19 - Tempos de Reverberação Solução E

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,00	0,92
1000	1,01	0,94
2000	1,06	0,99
Média	1,02	0,95

É possível retirar desta análise que, substituindo os mesmos elementos considerados nas simulações anteriores, os tempos de reverberação melhoram em cerca de 30% a 40% em comparação com a utilização de Akusto, tendo diretamente um impacto bastante significativo na qualidade acústica da sala. Mas, como já referido do ponto de vista estético, em nada é semelhante ao anterior, comprometendo toda a arquitetura do espaço. Também a sua resistência ao impacto é bastante inferior ao Akusto e se este já era considerado pouco adequado nesta área, então esta solução acaba por ser automaticamente excluída.

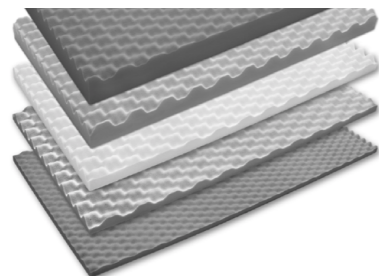


Imagem 18 - AlphaWedge Foam, Acoustical Solutions

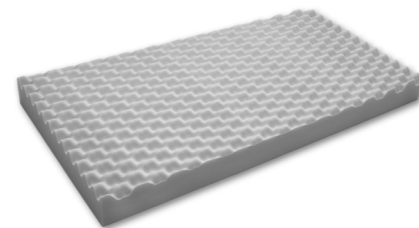


Imagem 19 - AlphaWedge Foam, Acoustical Solutions

F. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por AlphaMax Anechoic Wedge Foam

Semelhante à solução anterior, esta utiliza uma esponja com maior capacidade de absorção acústica, tendo os mesmos problemas estéticos e os mesmos benefícios técnicos. Este material consegue reduzir de forma mais significativa ainda os tempos de reverberação em relação ao analisado no ponto anterior.

Os resultados abaixo apresentados são elucidativos da melhoria de qualidade na acústica da sala.

Tabela 20 - Tempos de Reverberação Solução F

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	0,91	0,88
1000	0,94	0,91
2000	0,96	0,93
Média	0,94	0,91

Nesta solução, existe uma diminuição no tempo de reverberação equivalente a 5% mas, assim como a anterior, as características mecânicas do material e também a sua estética fazem com que esta não seja viável.

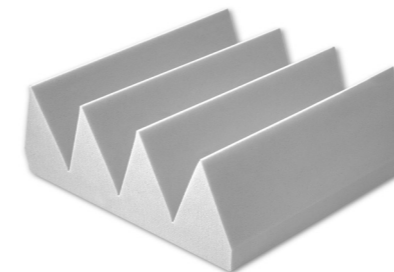


Imagem 20 - AlphaMax Anechoic Wedge Foam, Acoustical Solutions

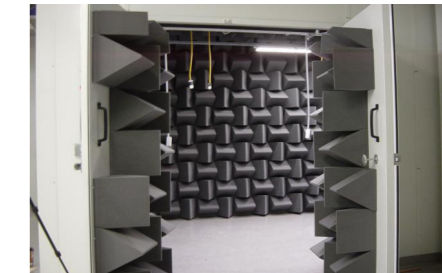


Imagem 21 - AlphaMax Anechoic Wedge Foam, IAC Acoustics

G. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por AlphaMax Wedge Foam e introdução do mesmo nas paredes da rampa

A introdução destes elementos nas paredes das rampas permite que o tempo de reverberação consiga ser bastante baixo, alcançando valores idênticos aos necessários quando se trata de uma sala com sistemas de emissão de som auxiliares (sistemas audiovisuais). Embora este trabalho incida sobre a reabilitação acústica da sala de exposições do edifício 2 do ISCTE-IUL, era importante do ponto de vista académico observar quais as alterações necessárias a fazer para garantir a total capacidade de utilização do espaço em várias ocasiões. Na situação atual, a utilização de sistemas auxiliares na sala de exposições iria culminar num total desconforto para as pessoas que estivessem dentro do espaço, pois a capacidade que estes sistemas têm é muito superior à de uma pessoa a discursar, acabando por encher todo o espaço com ruído que será muito prejudicial para a compreensão do som emitido.

Os valores abaixo apresentados são totalmente diferentes dos atuais e também de qualquer outra solução apresentada neste trabalho, garantindo uma total capacidade de absorção do som.

Tabela 21 - Tempos de Reverberação Solução G

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	0,76	0,76
1000	0,77	0,77
2000	0,81	0,81
Média	0,78	0,78

É possível observar uma total homogeneidade em ambos os pontos medidos, assim é possível garantir que nos diferentes espaços o som chega de forma idêntica, não existindo por isso qualquer diferença no conforto acústico entre eles. Esta solução só seria viável caso o espaço fosse utilizado para grandes conferências ou espetáculos, não sendo por isso de todo algo a ter em conta para uma sala que receberá eventos de menor dimensão.

H. Substituição dos elementos em MDF e teto falso por AlphaMax Wedge Anechoic Foam e introdução do mesmo nas paredes da rampa

Semelhante à solução anterior, aqui apenas o material é alterado, aumentando a capacidade de absorção do som. Os resultados obtidos são ligeiramente melhores, contudo excessivamente baixos para as necessidades do espaço apresentado. Esta solução, assim como a anterior, podia ser aceitável caso fosse incorporada numa sala com recurso as soluções auxiliares de transmissão sonora, como alguns dos auditórios do ISCTE-IUL.

Tabela 22 - Tempos de Reverberação Solução H

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	0,68	0,68
1000	0,71	0,71
2000	0,73	0,73
Média	0,71	0,71

Com uma diminuição do tempo de reverberação pouco significativa relativamente à solução G, a decisão entre quais destas duas utilizar seria única e exclusivamente tendo por base o custo de obra apresentado por qualquer uma das duas, pois a sua capacidade de resolver o problema e garantir os níveis de conforto acústico é bastante semelhante.



Imagem 22 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 23 - Render Sala de Exposições, autor 2018

I. Substituição do MDF do bloco suspenso e teto falso por Akusto acrescentando teto falso ao nível da viga de cota mais elevada

Esta solução tem como principal objetivo garantir não só a qualidade acústica do espaço, mas também a durabilidade e a utilização correta dos materiais propostos. Como já referido, o Akusto é um material com resistência ao impacto relativamente baixa, pelo que deverá ser aplicado acima da cota a que as pessoas se encontram, reduzindo ao máximo o contacto dos utilizadores. Apesar das suas grandes capacidades de absorção acústica, nem sempre é possível aplicá-lo em todas as situações, por isso nesta solução é apresentado também um teto falso ao nível da viga de cota mais elevada da sala de exposições, ficando à distância de 30cm da laje. Este elemento irá absorver parte do som que ficará retido junto à laje, reduzindo o tempo de reverberação e impedindo que o mesmo reflita e cause desconforto no espaço.

Os resultados abaixo apresentados começam a ganhar alguma homogeneidade, equilibrando os tempos de reverberação das diferentes frequências.

Tabela 23 - Tempos de Reverberação Solução I

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,71	2,01
1000	1,83	2,20
2000	1,90	2,36
Média	1,81	2,19

Nesta solução, é possível observar uma maior absorção das frequências baixas, ou seja, os sons graves, que até agora só teria sido possível com o recurso a grandes áreas de absorção ou materiais inestéticos com elevado desempenho acústico. Isto deve-se à utilização de elementos com menor flexibilidade como o pladur, pois os sons graves em materiais de grande porosidade que absorvem os sons agudos acabam por passar, não sendo absorvidos.

A aproximação aos resultados necessários é um indicador de que a solução final passará por uma aproximação a esta agora apresentada, sendo que ainda é necessário diminuir o tempo de reverberação em cerca de 15%.



Imagem 24 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 25 - Render Sala de Exposições, autor 2018

J. Substituição do MDF existente do bloco suspenso, teto falso e painel da parede Oeste por Akusto acrescentando teto falso ao nível da viga de cota mais elevada

A solução agora apresentada é semelhante à anterior, substituindo também o painel de MDF existente na parede Oeste da sala de exposições por Akusto, levando a que exista uma maior absorção sonora na zona de cota mais baixa. Deste modo, o som refletido que chegará a pontos de cota mais elevada será menor, pois a sua absorção é feita anteriormente, tendo influência de forma direta nos tempos de reverberação.

Os resultados que foram conseguidos são elucidativos da importância deste elemento na acústica da sala, tornando-o num dos principais fatores para chegar aos valores necessários.

Tabela 24 - Tempos de Reverberação Solução J

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,34	1,48
1000	1,39	1,55
2000	1,41	1,58
Média	1,38	1,54

É possível observar a diminuição significativa do tempo de reverberação, resultando em valores significativamente abaixo de 1,63 (tempo de reverberação requerido por lei). Contudo, a aplicação de Akusto em todo o painel da parede Oeste não será uma solução totalmente viável, pois o mesmo terá de ser aplicado em toda a superfície, causando problemas na preservação do material ao longo do tempo, devido à já referida fraca resistência ao impacto.

A homogeneidade dos tempos de reverberação existente em todas as frequências é indicadora da grande capacidade de criar conforto no espaço, pelo que será necessário encontrar uma solução que responda a todos os parâmetros, não só conforto acústico, mas também o envelhecimento correto dos materiais.

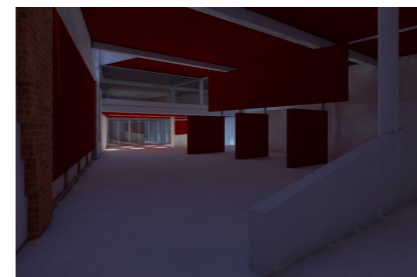


Imagem 26 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 27 - Render Sala de Exposições, autor 2018

L. Revestimento do MDF existente do bloco suspenso, teto falso existente e do teto falso ao nível da viga de cota mais elevada em Akusto

Semelhante ao caso apresentado anteriormente no ponto I, esta solução considera o revestimento dos elementos em vez da sua substituição, garantindo assim uma maior absorção das frequências baixas devido à maior rigidez dos materiais existentes. A incorporação do revestimento em Akusto no teto falso permite também que este absorva mais frequências altas, levando a uma maior capacidade de absorção de todo o espectro sonoro.

Os resultados abaixo apresentados são, contudo, ainda pouco satisfatórios, não alcançando o objetivo necessário para a atribuição de conforto acústico.

Tabela 25 - Tempos de Reverberação Solução L

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,60	1,83
1000	1,71	1,99
2000	1,78	2,08
Média	1,70	1,97

Apesar da melhoria quando utilizado o revestimento em vez da substituição integral dos materiais, ainda não é possível garantir a qualidade sonora do espaço, nem o respeito dos valores necessários por lei. A grande vantagem desta solução concentra-se na correta aplicação dos materiais, garantindo a sua preservação ao longo do tempo e mantendo as condições de utilização atuais de toda a sala.



Imagem 28 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 29 - Render Sala de Exposições, autor 2018

M. Revestimento do MDF existente do bloco suspenso, teto falso existente, painel da parede Oeste e do teto falso ao nível da viga de cota mais elevada em Akusto

Esta solução vem, uma vez mais, reforçar a importância que o painel da parede Oeste tem na acústica do espaço. É importante compreender que a localização dos elementos existentes na sala tem uma total importância na acústica da mesma, pois o som acaba por refletir em todos eles. A capacidade de absorção que este elemento tem devido à sua dimensão é bastante grande, como tal acaba por ter uma influência direta no conforto acústico do espaço.

Os resultados apresentados na tabela seguinte são esclarecedores quanto à necessidade de incorporação deste painel na solução final.

Tabela 26 - Tempos de Reverberação Solução M

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,18	1,19
1000	1,22	1,23
2000	1,24	1,25
Média	1,21	1,22

É possível observar a grande proximidade dos tempos de reverberação nas diferentes frequências, acontecendo neste caso uma grande absorção do som à cota mais baixa, impedindo o mesmo de refletir em mais elementos.

A importância que um só elemento tem numa área tão ampla permite concluir que na acústica dos edifícios nada pode ser considerado de menor valor, pois tudo terá uma influência direta no espaço.

Apesar dos valores apresentados serem bastante satisfatórios para o trabalho desenvolvido, esta solução carece dos mesmos problemas já anteriormente apresentados, pois a utilização dos Akusto em todo o painel da parede Oeste vai ter graves problemas de conservação por estar à ao nível das pessoas que ocupam o espaço.



Imagem 30 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 31 - Render Sala de Exposições, autor 2018

N. Revestimento de todos os elementos em MDF e teto falso existente com Akusto

Semelhante à solução apresentada no ponto C, esta em vez de substituir todos os elementos em MDF procede ao revestimento dos mesmos em Akusto, garantindo uma maior absorção do som em todas as frequências. As diferenças na aplicação do material refletem-se não só no som, como também no custo de obra, pois seria mais dispendioso proceder à remoção de todos os elementos e consequente montagem dos mesmos em Akusto do que os revestir neste material.

Os resultados são bastante interessantes, pois com esta solução é possível chegar a valores melhores do que quando utilizado AlphaWedge nos mesmos elementos.

Tabela 27 - Tempos de Reverberação Solução N

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	0,89	0,94
1000	0,90	0,95
2000	0,91	0,95
Média	0,90	0,95

Contudo, esta solução carece dos mesmos problemas já referidos em todas as outras que utilizam o Akusto, pois a degradação do material vai ser bastante significativa, mesmo que aplicada como revestimento aos elementos pré-existentes em MDF.

Do ponto de vista da realização deste trabalho, esta solução é bastante importante para a existência de comparação direta entre o revestimento ou a substituição de material. Pois desta forma é possível observar que, por vezes, o que existe pode ser aproveitado de forma benéfica para o espaço.

O. Revestimento do MDF existente do bloco suspenso, painel da parede Oeste acima de 1,70m, teto falso existente e do teto falso ao nível da viga de cota mais elevada em Akusto

Esta solução tem como objetivo chegar a um resultado final que garanta todas as necessidades acústicas do espaço, bem como a correta aplicação dos materiais utilizados. Revestindo o painel de MDF da parede Oeste da sala de exposições acima de 1,70m garantimos não só uma grande área de absorção sonora à cota de emissão do som, como também a preservação do material ao longo do tempo, pois não existirá contacto entre este e as pessoas. A aplicação de Akusto sobre o bloco suspenso garante a absorção do som a uma cota intermédia, obtendo-se um duplo efeito, pois irá absorver o mesmo quando este ascende e após reflexão quando regressa a cotas mais baixas, reduzindo em muito o desconforto que poderia ser criado. A colocação do teto falso e posterior revestimento a Akusto vai garantir que todas as frequências sejam absorvidas na cota mais elevada, reduzindo significativamente a reflexão do som na laje.

É possível ainda observar nos resultados abaixo apresentados que o tempo de reverberação das diferentes frequências é bastante homogêneo, garantindo assim que não existirá manipulação do som, que pode acontecer quando a capacidade de absorção de frequências é bastante distinta, tornando o som mais agudo ou grave

Tabela 28 - Tempos de Reverberação Solução O

F(Hz)	RT5 (s)	RT16 (s)
500	1,53	1,54
1000	1,63	1,65
2000	1,68	1,71
Média	1,61	1,63

Os valores correspondentes ao tempo de reverberação garantem o cumprimento da legislação em vigor, mantendo-se dentro dos parâmetros necessários para o volume total do espaço.



Imagem 32 - Render Sala de Exposições, autor 2018



Imagem 33 - Render Sala de Exposições, autor 2018

Comparação de resultados

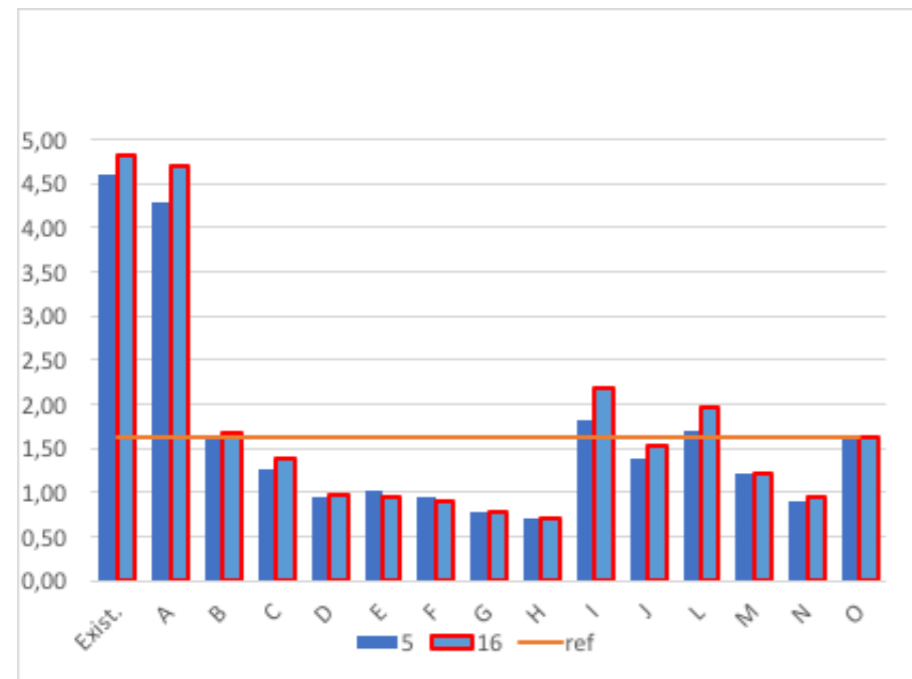


Imagem 34 - Tempos de Reverberação Soluções

Os resultados acima apresentados foram obtidos através de vários testes e simulações estudadas para o desenvolvimento deste trabalho. Através do recurso aos softwares já mencionados, Archicad e Ecotect, foi possível simular todo o comportamento acústico da sala de exposições do edifício 2 do ISCTE-IUL, com os materiais existentes e novos.

Após a análise individual dos conjuntos de resultados, é necessário fazer a comparação entre soluções semelhantes, para em plena consciência poder ser proposta a melhor solução possível. Com base nas características, necessidades e tentando respeitar o espaço projetado pelo arquiteto é necessário perceber em concreto quais as diferenças que existem nas alterações feitas entre:

1. Existente e o existente sem elementos em MDF;
2. Substituição dos elementos em MDF e teto falso existente por Akusto e Revestimento dos mesmos elementos com Akusto;
3. Revestimento do bloco suspenso e do teto falso ao nível da viga de cota mais elevada e Revestimento do bloco suspenso, painel em MDF da parede Oeste e teto falso ao nível da viga de cota mais elevada;

Estas comparações pretendem demonstrar qual a influência que diferentes soluções construtivas podem ter na acústica do espaço, independentemente de os valores de tempo de reverberação atingirem ou não o pretendido.

1. Existente e Existente sem elementos de MDF

Em ambas as soluções os tempos de reverberação alcançados são bastante elevados, comprometendo o conforto acústico da sala. Apesar de bastante deficitário, o comportamento acústico existente conduz a uma maior homogeneidade do tempo de reverberação nas diferentes frequências. O mesmo não acontece quando os elementos construídos em MDF são retirados, pois estes ajudam a absorver as frequências graves. Nesta solução, existe uma diminuição dos tempos de reverberação para as frequências mais elevadas, sons agudos, e o aumento das baixas, sons graves. Isto é explicado pela capacidade de propagação das frequências mais baixas no espaço; uma vez que o período da onda sonora é o inverso da frequência, estas têm maior capacidade de propagação, mantendo-se por maior tempo no espaço. Assim, as frequências mais altas propagam-se durante menos tempo, resultando numa diminuição do tempo de reverberação.

Do ponto de vista arquitetónico, retirar os elementos em MDF da sala de exposições iria mudar por completo o carácter da mesma, uma vez que estes são fundamentais para as atividades realizadas, fazendo parte das ideias iniciais do arquiteto.

2. Substituição dos elementos em MDF e teto falso existente por Akusto e Revestimento dos mesmos elementos com Akusto

Apesar das poucas diferenças entre ambas as soluções, os resultados obtidos são bastante expressivos. É possível observar uma diferença em cerca de 30% do tempo de reverberação, com maior incidência nas frequências baixas. Mantendo os elementos em MDF os sons graves são mais absorvidos, tendo tempos de reverberação mais baixos que os agudos. Isto permite concluir que o MDF tem um desempenho bastante elevado na absorção das frequências baixas.

Em ambas as soluções, o aspeto da sala seria o mesmo, uma vez que o material à vista seria o Akusto, mas o custo de obra na primeira solução é bastante superior uma vez que seria necessário retirar todos os elementos de MDF e acrescentar ao Akusto os perfis necessários à montagem do mesmo.

3. Revestimento do bloco suspenso e do teto falso ao nível da viga de cota mais elevada e Revestimento do bloco suspenso, painel em MDF da parede Oeste e teto falso ao nível da viga de cota mais elevada

Nas duas soluções apresentadas é visível a diferença nos resultados através da alteração em todo o painel de MDF existente na parede Oeste da sala de exposições. A colocação de material absorvente no mesmo reflete um efeito bastante positivo nos tempos de reverberação obtidos, conseguindo baixar substancialmente os mesmos.

A absorção feita a uma cota mais baixa, ou seja, ao nível das pessoas impede que o som se propague livremente pelo restando espaço, reduzindo o número de reflexões existentes. Assim é possível chegar aos resultados pretendidos.

Nestas soluções, introduz-se ainda um teto falso que irá absorver todos os sons a uma cota superior impedindo que este reflita, tendo um impacto direto na duração de propagação do mesmo.

A nível arquitetónico, as vigas existentes têm uma presença bastante forte no espaço, sendo que a aplicação do teto falso irá retirar parte da mesma. É possível a colocação do mesmo com um afastamento à laje inferior ao dos restantes elementos, sem comprometer o comportamento acústico do espaço.

CONCLUSÕES

A acústica de um edifício não deve ser tratada apenas com vista ao isolamento do mesmo em relação ao exterior. O som no interior do espaço não vai propagar-se de igual forma, sendo afetado pelo desenho e pelos materiais que o compõem. Muitas vezes, a necessidade de criar um espaço interessante arquitetonicamente acaba por deixar de parte outras áreas igualmente importantes para a vivência do espaço, pois este tem de ser confortável em todos os níveis e não só ao olhar. É possível observar em várias situações o desconforto acústico de um espaço, como por exemplo numa casa ainda sem mobília, em que existe uma maior reflexão do som ou mesmo numa sala de grandes dimensões. Quanto maior o espaço disponível, mais difícil irá ser resolver a necessidade de absorção sonora, isto porque o espaço livre para criar zonas de reflexão é superior.

A sala de exposições do edifício 2 do ISCTE-IUL é o exemplo de um espaço sem qualidade acústica, isto porque o betão, pela sua densidade, não tem capacidade de absorver o som incidente, refletindo-o praticamente na totalidade. A incorporação de materiais com um coeficiente de absorção acústica elevado é a única solução para tornar o espaço confortável.

O grande problema da maior parte destes materiais é a sua densidade, pois ao serem consideravelmente leves acabam por perder propriedades de resistência mecânica, sendo pouco resistentes ao impacto. Por precaução, a sua aplicação deve ser feita acima da linha de vista das pessoas, sensivelmente 1,70m.

A solução encontrada para o espaço sobre o qual este trabalho incide, tem como objetivo o menor impacto possível na arquitetura existente, sendo que para tal é necessário a aplicação de materiais com valor estético equivalente aos já aplicados. A uma cota mais baixa, o revestimento em Ecophon Akusto do painel de MDF da parede Oeste irá absorver grande parte das ondas sonoras existentes pouco tempo após a sua emissão, impedindo a reflexão posterior para outros elementos. Deste modo, e aplicando o material na área acima de 1,70m, é possível garantir uma grande capacidade de absorção e conseqüente diminuição do tempo de reverberação. Posteriormente, a uma cota intermédia, é necessário revestir o bloco suspenso também com Ecophon Akusto, garantindo assim a maior área de absorção sonora antes do som chegar ao teto. Este bloco, por estar sensivelmente a meia altura do espaço, tem um papel fundamental na atribuição de conforto acústico, pois consegue absorver todas as ondas refletidas antes nos outros elementos. A aplicação do teto falso revestido a Akusto vai possibilitar que todas as ondas sonoras até então não absorvidas não reflitam na laje superior do espaço, impedindo assim o seu retorno à cota mais baixa e por isso reduzindo o tempo de reverberação de forma bastante significativa. A requalificação do teto falso existente na zona de pé direito mais baixo, local onde são feitas, por exemplo, as sessões de discussão de mestrado em arquitetura, permite que grande parte do som seja logo absorvido, impedindo a sua propagação para o resto do espaço.

As alterações propostas, neste trabalho, à sala de exposições têm como pressuposto a menor intervenção possível necessária, tendo sempre sido demonstrado esse interesse desde o começo do mesmo. Embora os tetos falsos a colocar sejam os elementos que maior impacto terá no desenho do espaço, estes podem ser colocados um pouco acima da face inferior das vigas sem comprometer a acústica do espaço, diminuindo o efeito da intervenção. Por uma questão de opção, e tratando-se da intervenção numa escola de arquitetura, também poderá ser interessante a existência dos mesmos à face da viga, mostrando o contraste criado e evidenciando as alterações feitas. Isto porque, tratando-se de uma reabilitação, essas alterações devem ser possíveis de observar e não disfarçadas para parecerem na totalidade elementos já existentes.

BIBLIOGRAFIA

ACAP (2014) Estatística Parque Automóvel. <http://www.autoinforma.pt/estatisticas/estatisticas.html?MIT=36458>

Ambiente, I. do (2004) O ruído e a cidade. Edited by I. do Ambiente. Lisboa: Instituto do Ambiente.

America, N. A., Gunsul, Z. and Architects, F. (2011) 'Soka Performing Arts Center'. 'ArchiCAD 10 Interactive Training Guide'

Bueno, A. M., León, Á. L. and Galindo, M. (2012) 'Acoustic Rehabilitation of the Church of Santa Ana in Moratalaz, Madrid', Archives of Acoustics.

Câmara Municipal de Lisboa (2017) Câmara Municipal de Lisboa: Mapas de Ruído. <http://www.cm-lisboa.pt/viver/ambiente/ruído/mapas-de-ruído>

Ecotect, A. and User, A. (2010) 'Using Autodesk Ecotect Analysis and Building Information Modeling'.

Egan, M. D. (2007) Architectural Acoustics. 1st Editio. J. Ross Publishing.

Fernanda, M., Garcia, F. and Raquel, M. (2008) 'MINISTÉRIO DO AMBIENTE , DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL'.

INE - Instituto Nacional de Estatística (2015) PORDATA - Ano de construção dos Edifícios em Potugal, PORDATA. <https://www.pordata.pt/DB/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela>

Kdoo, S. et al. (2017) 'Salle Modulable.'

Meuron, D. (2017) 'Elbphilharmonie hamburg, grosser saal'.

Patrício, J. (2003) Acústica nos edifícios. 1a edição. Edited by H. Oliveira. Lisboa.

da Silva, P. M. (2001) A componente acústica na reabilitação de edifícios de habitação. 3a edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

da Silva, P. M. (2006) Projecto de condicionamento acústico de edifícios. 1a edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Study, A. C. (2012) 'CHURCH ACOUSTIC REHABILITATION A CASE STUDY', (Lxii).

Wheeler, R. M. (2014) The Science of Sound. 3rd Editio. Edinburgh: Pearson.

Vertente Prática

Legenda, caminhos existentes:



 Autoestrada do Norte - A1

 Estrada Nacional 3 - N3

 Caminho de Ferro

 Caminho de Fátima



Entre “pauis” e “campos de pão” (Mattoso, Daveau, Belo, 2013) encontramos o lugar do Ribatejo. O nome advém daquele que é o seu elemento físico mais importante, ao qual o lugar está adjacente - o Rio Tejo. Por reflexo ao Alentejo, encontramos junto às margens do rio uma imensa planície irrigada com pequenos afluentes, que abre espaço para umas das terras mais férteis de Portugal. Eram estas povoações ribeirinhas cercanas de Lisboa que serviam de celeiro à capital até ao final do século XIX, fornecendo o alimento primordial - o pão.

Aqui a terra apresenta-se num extenso vale onde o rio aparece “de horizonte a horizonte” (Mattoso, Daveau, Belo, 2013), vagueando entre bancos de areia. A imagem aparentemente serena, esconde os desastres causados pelas cheias que acontecem em períodos de chuva, vindo da serra de Montejunto, são chamadas as águas do monte. Se por um lado são destruidoras por outro é pelo aluvião depositado lentamente nas margens que estas terras são tão férteis. Ao longo dos anos estas margens foram crescendo e o depósito que ficou acabou por moldar estes limites de uma forma mais alta do que no interior da planície. Como resposta às enchentes e numa tentativa de escoar as águas até ao Tejo, desde o século XII que se começaram a fazer valas, tornando os pântanos ribatejanos em campos agrícolas ricos em fertilizante natural. Finalmente, no século XVI foi traçado um plano de obras de drenagem para as zonas ribeirinhas. No século XVIII, Marquês de Pombal mandou completar a vala da Azambuja e no século XIX a vala de Alpiarça, ambas navegáveis.

Atualmente distinguem-se três paisagens reflexos da vida quotidiana do que tem sido o Portugal industrial que mantém as suas humildes origens agrícolas. Se por um lado aparecem para lá da linha do comboio - novo eixo paralelo ao rio - os extensos campos agrícolas, numa escala rasa, do outro lado deste limite encontramos o lugar das indústrias numa escala esmagadora e barulhenta. A média escala, entre os dois anteriores, estão as vilas do ribatejo que vão surgindo como pequenas manchas edificadas na paisagem. E são nestas três escalas que se move o Ribatejo atual, deixando o Rio como uma memória longínqua que não pertence a lugar nenhum.

Enraizada na cultura ribatejana é possível encontrar os peregrinos que desde o início do século XX, após as aparições de Nossa Senhora aos pastorinhos, utilizam a os caminhos próximos ao Tejo para se deslocarem de Lisboa a Fátima. O Caminho do Tejo é um percurso com 141 km desde a Sé de Lisboa ao Santuário de Fátima, composto por várias dificuldades é também o mais perigoso a nível nacional pois, a proximidade que tem com as vias de trânsito rápido para os automóveis faz com que existam todos os anos graves acidentes entre ambos. Com o crescimento exponencial do turismo em Portugal é possível observar um número crescente de pessoas a fazerem este trajeto, sendo necessária uma intervenção que permita ao mesmo acontecer em segurança.

A proposta de grupo provém desta ligação histórica aos caminhos de Fátima, fazendo uma junção de ambos os elementos. A construção das valas permitiu a abertura de caminhos pedonais ao longo de todo o rio, numa extensão que atravessa todo o concelho da Azambuja, assim a nossa solução passa pelo aproveitamento dessas mesmas vias para criar um percurso de ligação entre a Vala do Carregado até Santarém, passando por Vila Nova da Rainha, Vala da Azambuja e Palácio das Obras Novas. Tornando possível uma via circular que servirá não só para os peregrinos, mas também para os habitantes, permitindo a estes explorar e aceder a todos os locais do município e aos trabalhadores das indústrias existentes que atualmente têm de percorrer a nacional 3 a pé caso queiram chegar ao seu local de trabalho vindos da estação de comboios da Azambuja ou de Vila Nova da Rainha.

Texto elaborado pelo grupo:

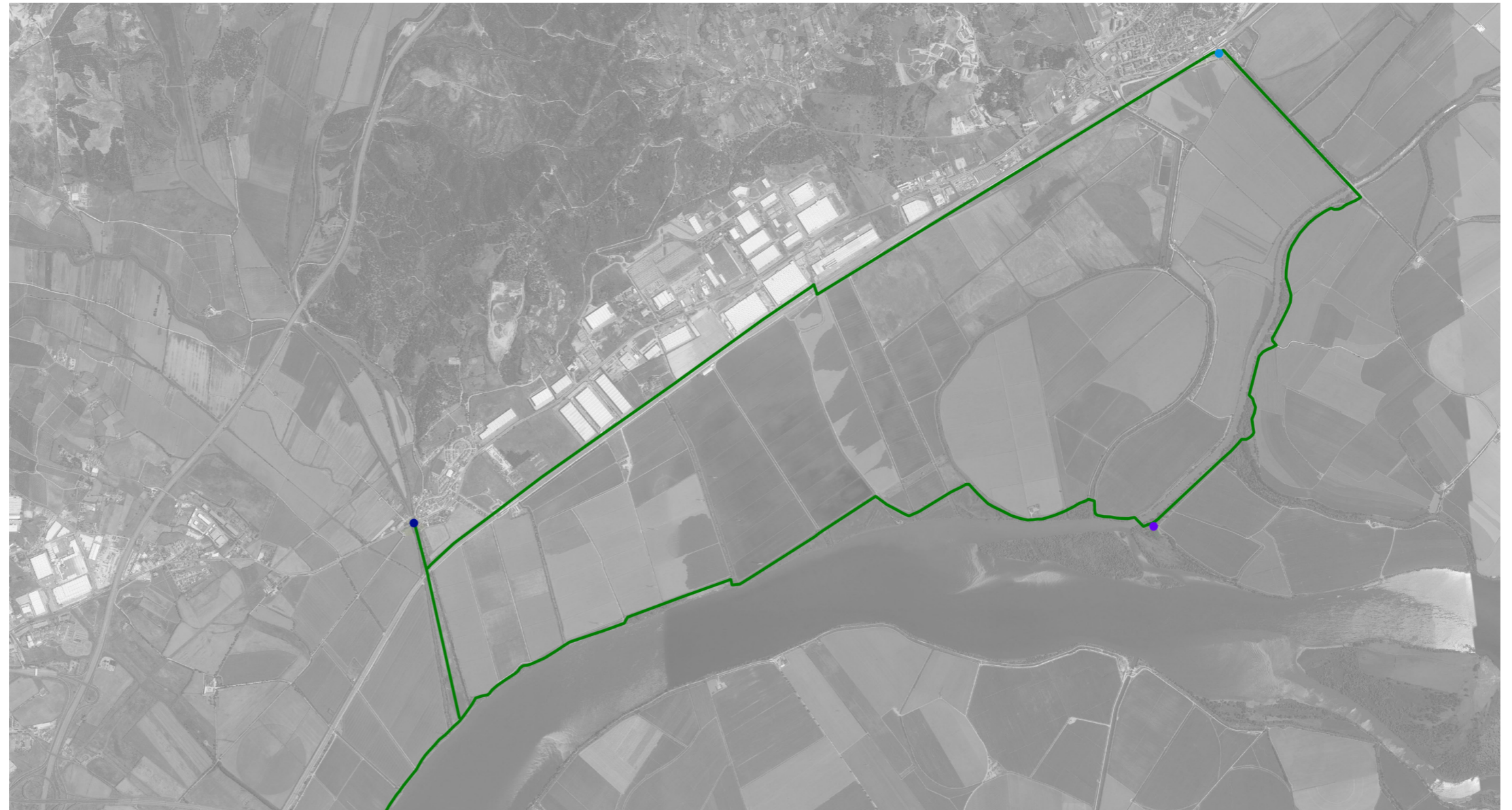
David Dias e Rita Mansinho

Legenda, proposta de grupo:



Proposta de intervenção

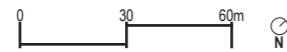
- Vila Nova da Rainha
- Palácio das Obras Novas
- Vala da Azambuja

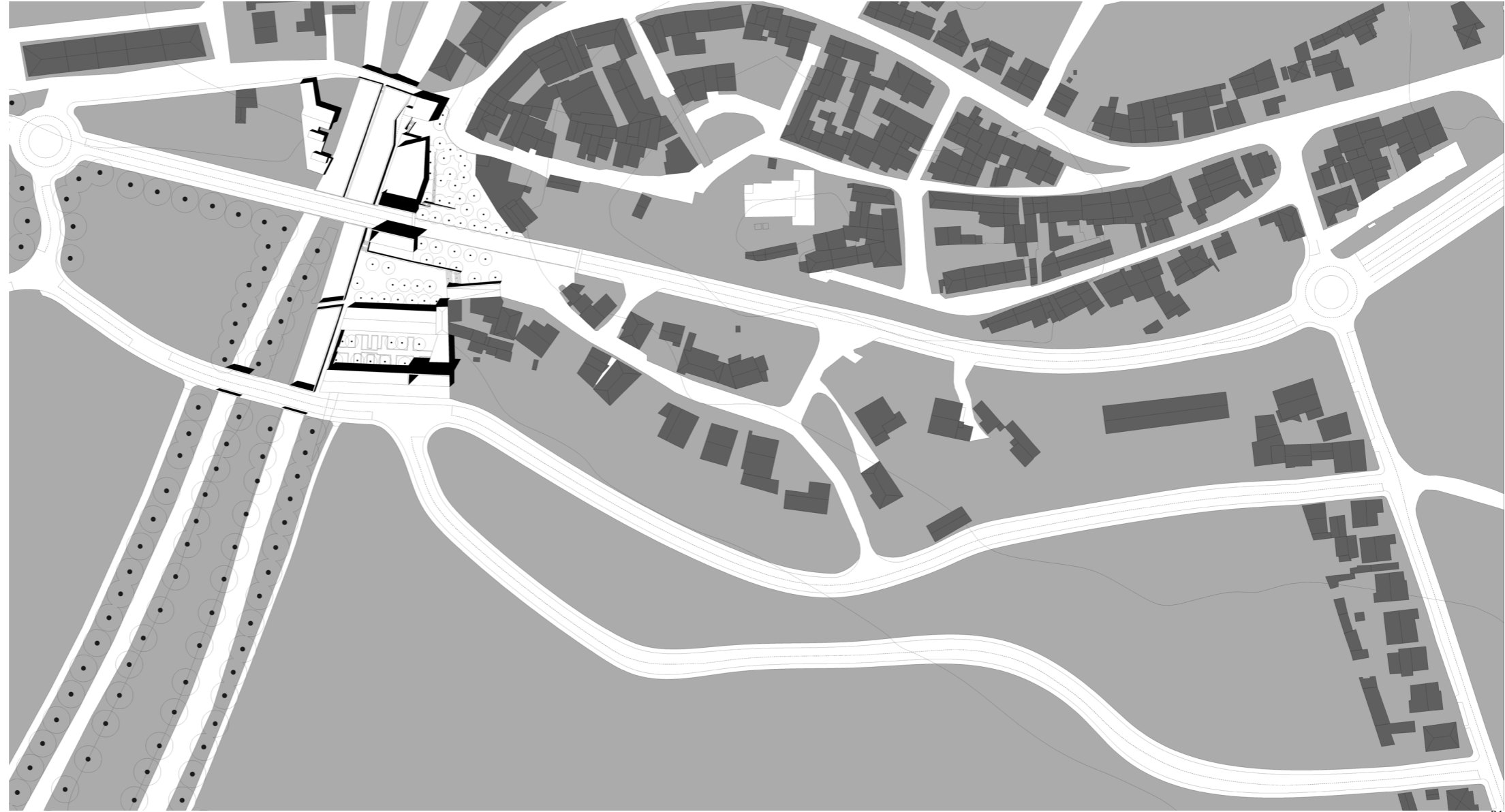


Reconversão Urbana Vila Nova da Rainha, Azambuja

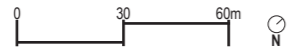


Planta Existente





Planta de Implantação



Vila Nova da Rainha é uma pequena vila situada na fronteira entre o concelho de Alenquer e Azambuja. Devido à proximidade com a linha férrea e o nó do Carregado tem sido um ponto estratégico para a implantação de várias indústrias do país. Pela sua dimensão industrial a Estrada Nacional 3 tem uma dimensão bastante significativa, acabando por retirar a importância à localidade e tornando-se o elemento de maior foco desta. A destruição de edifícios da vila, bem como da sua própria malha urbana é bastante visível aquando da construção desta via de ligação do Carregado a Santarém.

Atualmente existe uma vila totalmente desagregada da sua conceção inicial, na qual não é aproveitada a proximidade com o rio Ota e Alenquer que nesta pequena localidade se juntam com o Tejo. A água é um dos elementos de maior importância deste local, tornando-o num espaço privilegiado não só pela proximidade, mas também pelo enquadramento rural envolvente onde ainda é possível observar os pequenos campos de cultivo dentro da própria vila.

O projeto apresentado advém de uma análise geral não só da vila como de toda a envolvente e rotinas existentes, tentando restabelecer a ligação da vila com o rio em toda a área intervencionada tenta reestruturar o existente facilitando não só os caminhos afetos aos peões, como a própria circulação automóvel, através de caminhos alternativos, diminuindo o tráfego central atual.

Imagem 35 - Estrada Nacional 3, Vila Nova da Rainha, fotografia de autor 2018





Imagem 36 - Igreja de Vila Nova da Rainha, fotografia de autor 2018



Imagem 37 - Rio Ota e Rio Alenquer, Vila Nova da Rainha, fotografia de autor 2018



Imagem 38 - Vila Nova da Rainha, fotografia de autor 2018

O espaço afeto ao alojamento local consiste na reabilitação de um antigo armazém agrícola em 7 apartamentos de tipologia T1 que comunicam diretamente com o espaço comum e o pátio interior exclusivo aos clientes. A construção de um elemento novo irá permitir o desenho da rua atrás que faz o acesso à ponte proposta, permitindo o atravessamento do rio na zona mais a sul da vila, atualmente o mesmo só é possível de ser feito na antiga estrada de ligação ao Carregado. Este novo elemento é composto por 7 quartos ligados por um corredor com vista para os campos de cultivo existentes, criando um paralelo entre a parte urbana e rural que sempre foi característico da vila. A utilização de sistemas construtivos tradicionais no antigo armazém e de outros mais contemporâneos no novo bloco criam o contraste pretendido na separação dos mesmos, sendo estes ligados por um elemento suspenso afeto a uma sala de leitura a uma cota mais elevada de onde é possível contemplar toda a beleza da paisagem ribatejana.

As duas torres propostas em ambos os lados da Estrada Nacional 3(N3) albergam serviços totalmente diferentes. Na torre sul é possível encontrar à cota inferior o espaço de restauração reservado aos clientes da unidade de alojamento e à cota superior um outro espaço de restauração aberto ao público. Na torre norte encontra-se o espaço do Rancho Folclórico Vilanovense, que atualmente funciona no antigo armazém localizado no mesmo sítio onde a nova construção tem lugar, composto por uma sala de ensaios no piso superior e um armazém e camarins no piso inferior. Ambas as torres têm como objetivo retirar o protagonismo que a N3 tem, mantendo a leitura de que esta seccionou parte de Vila Nova da Rainha.

A Praça D. Nuno Álvares Pereira comunica agora diretamente com o rio, passando pelo auditório coberto onde é possível o rancho atuar, criando assim a possibilidade de o espaço ser aproveitado não só lazer como para eventos. A construção de um elemento na parte norte do auditório encerra o espaço permitindo concluir o limite da praça e criando uma linha de visão desobstruída da Igreja com o rio, este edifício possui à cota superior instalações sanitárias públicas de apoio a toda a infraestrutura da praça e auditório e à cota inferior um pequeno café que abre para o passadiço junto ao rio onde é possível percorrer todo o espaço passando por baixo da N3 e chegando aos terrenos agrícolas. A sua pequena esplanada cria um espaço suspenso sobre o rio onde se pode permanecer e contemplar toda a beleza deste curso de água.

No local onde atualmente encontramos a União Columbófila é proposto a construção de um novo edifício para a Junta de Freguesia, libertando o atual local de caráter habitacional e colocando o principal serviço da vila no centro da mesma. Este edifício permite à cota mais baixa a ligação do passadiço proposto junto ao rio com os antigos lavadouros públicos, levando à reabertura dos mesmos para lazer ou uso da população.

A União Columbófila é recolocada na outra margem do rio num edifício de construção leve sobre a água contando também com dois espaços para colocação dos pombos e um espaço exterior onde é possível realizar cerimónias de entrega de prémios ou o convívio dos seus associados.

O muro existente entre os rios é reabilitado e construída uma passagem pedonal por cima do mesmo, ligando as duas pontes das extremidades e passando por baixo da N3, assim é possível caminhar ao longo dos dois cursos de água e chegar ao tejo através do trajeto proposto pelo trabalho de grupo.

Em alçado é visível a diversidade de cotas que a vila tem, existindo edifícios de diferentes escalas. Esta cultura é transmitida no projeto pelas diferentes inclinações das coberturas e pelos acidentes propositados no desenho dos edifícios, criando uma leitura homogénea dos mesmos e fazendo o enquadramento da frente de Vila Nova da Rainha. Assim esta vila ribatejana deixará de passar despercebida pelo meio de uma Estrada Nacional.

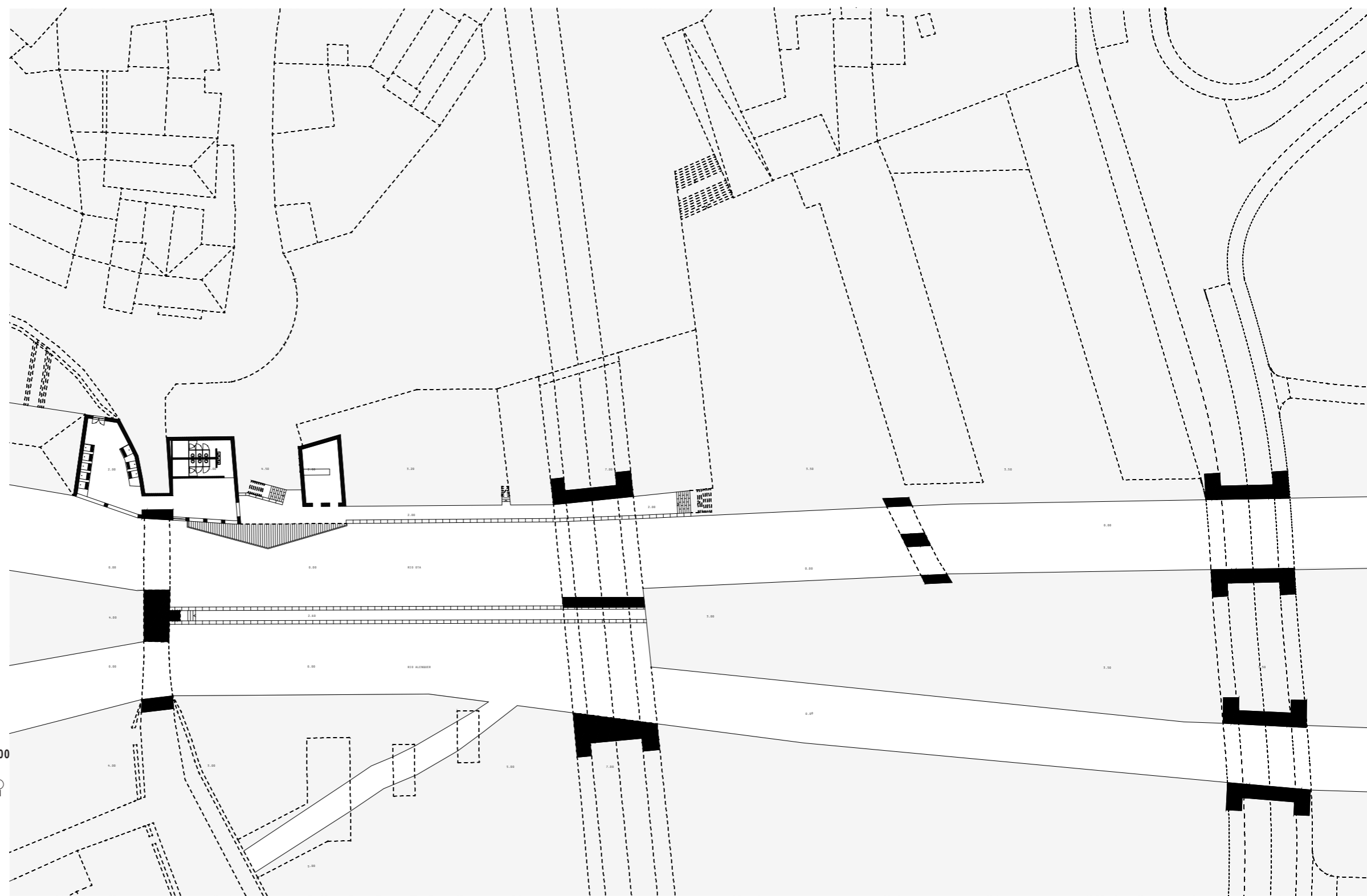


Imagem 39 - Vila Nova da Rainha, fotografia de autor 2018



Imagem 40 - Vila Nova da Rainha, fotografia de autor 2018

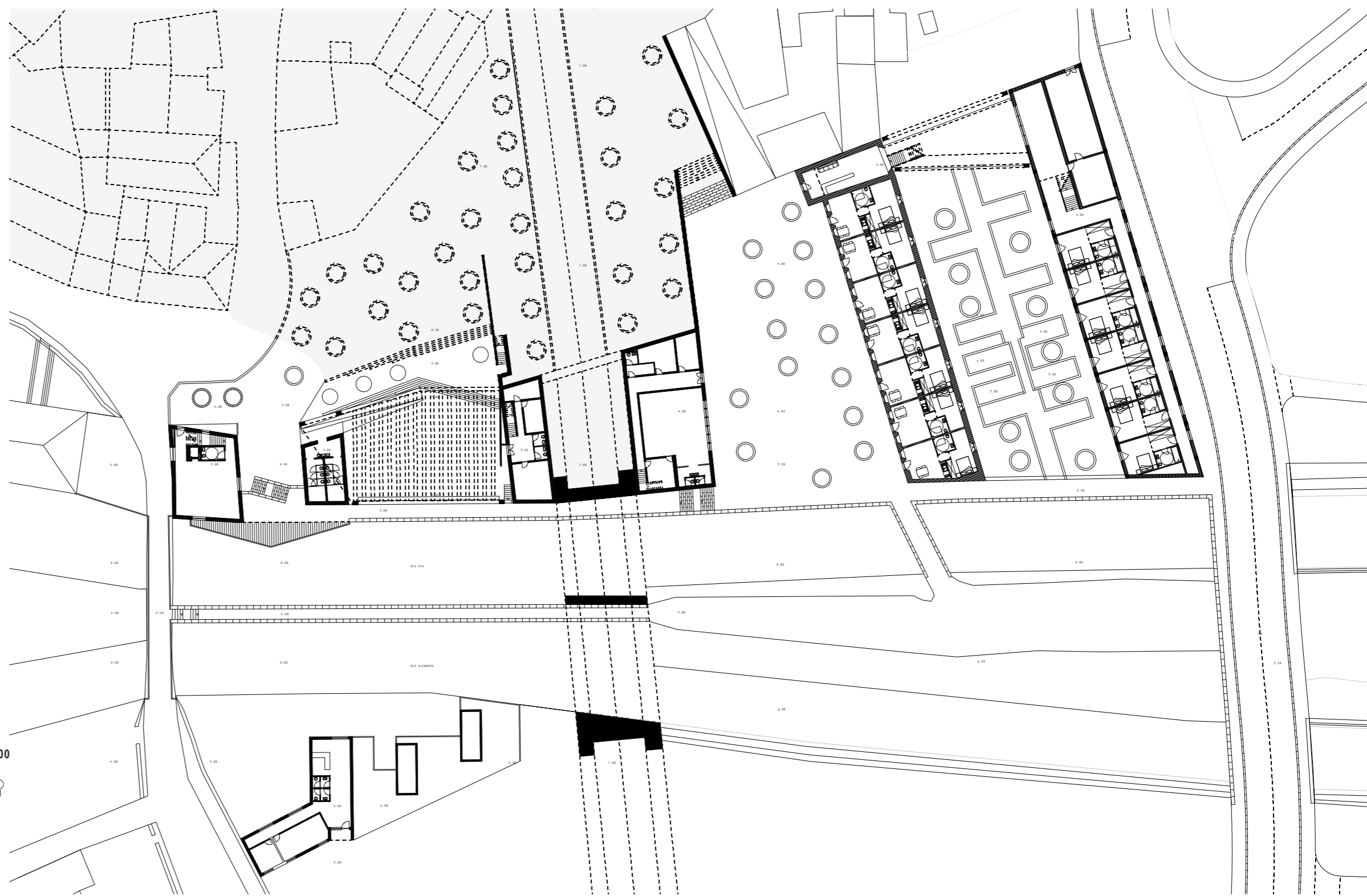
Desenhos Técnicos



Planta Piso 0

1:500





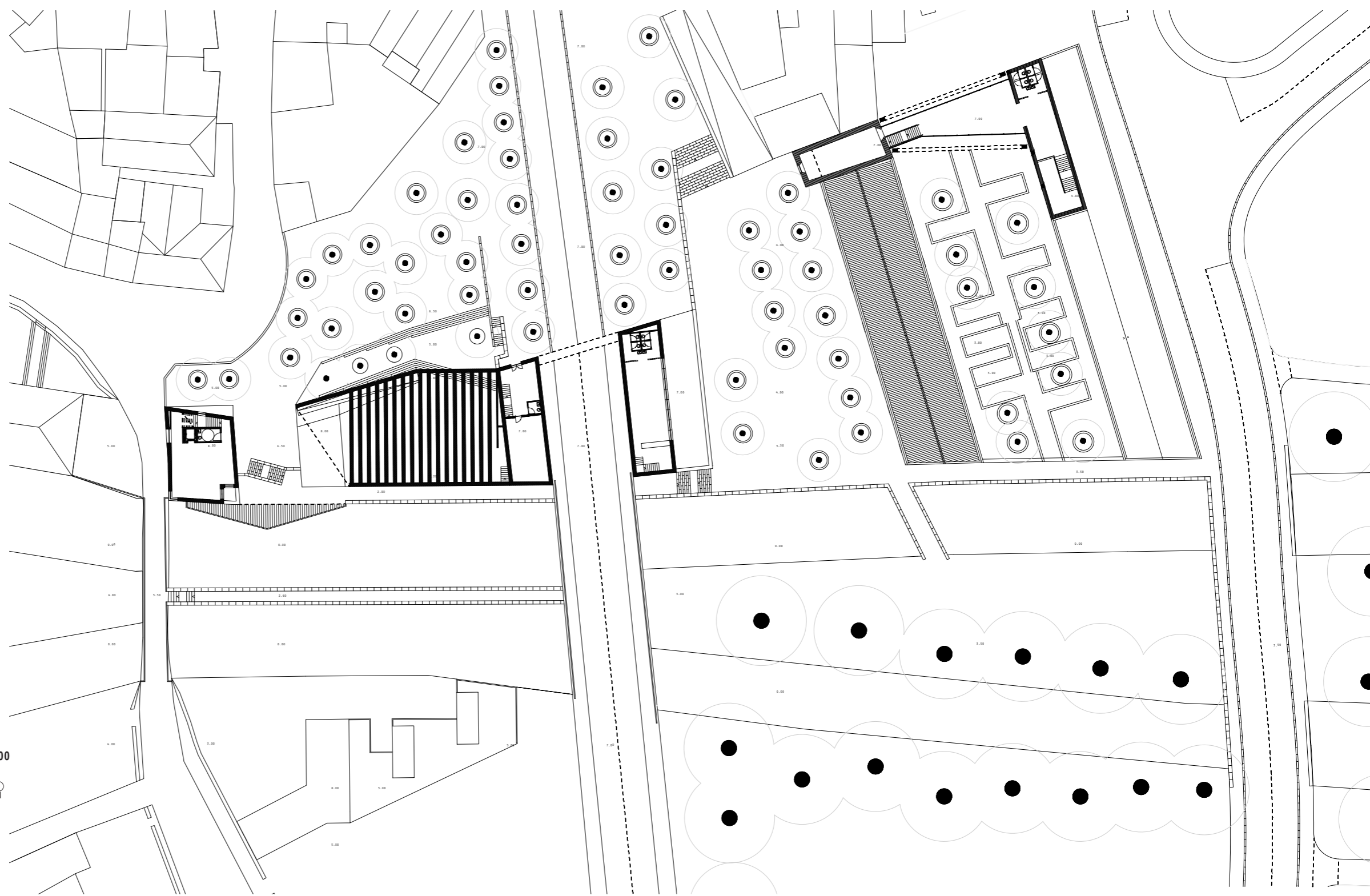
Planta Piso 1

1:500



Planta Piso 2

1:500

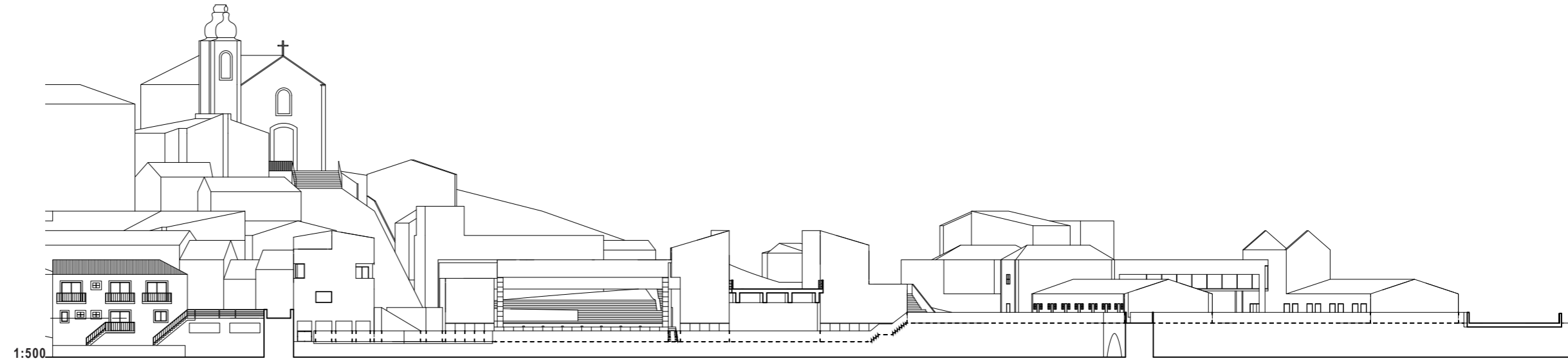


Planta Piso 3

1:500

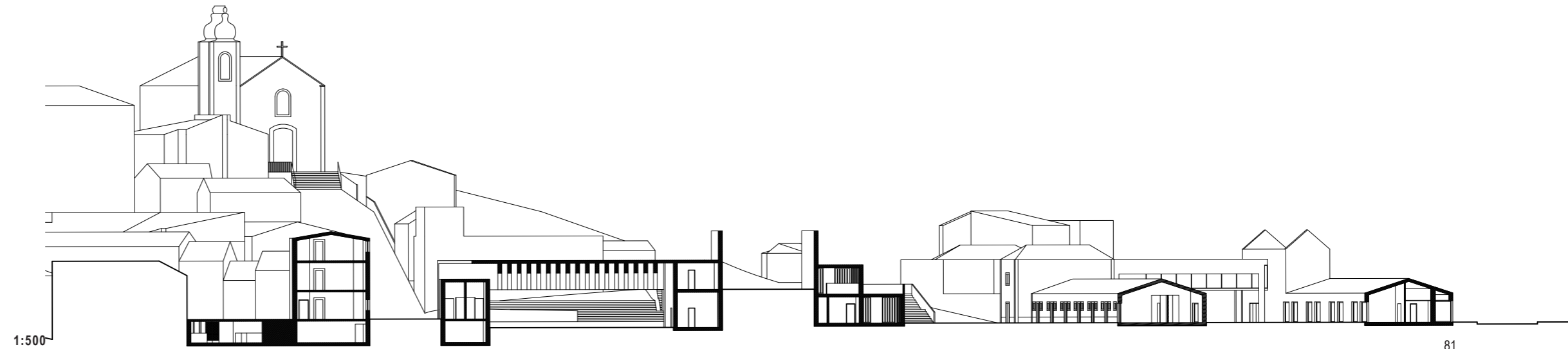


Alçado



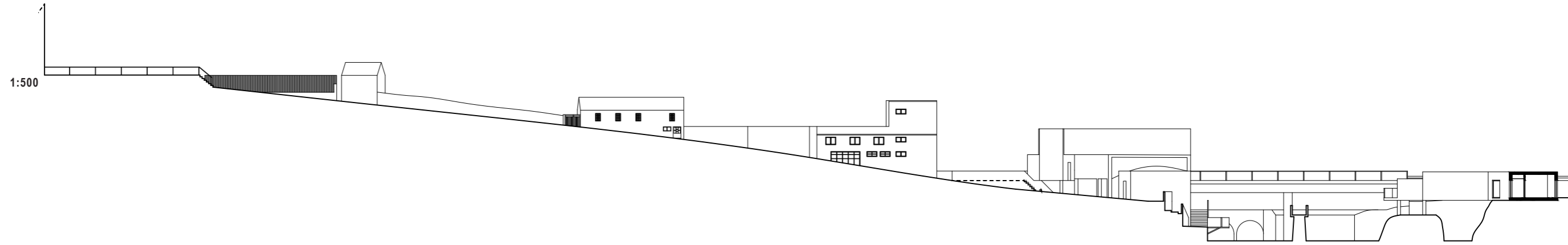
1:500

Corte AA'



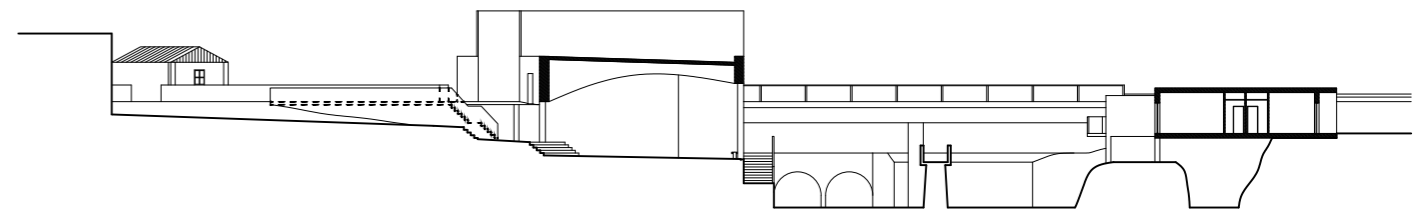
1:500

Corte BB'



Corte CC'

1:500

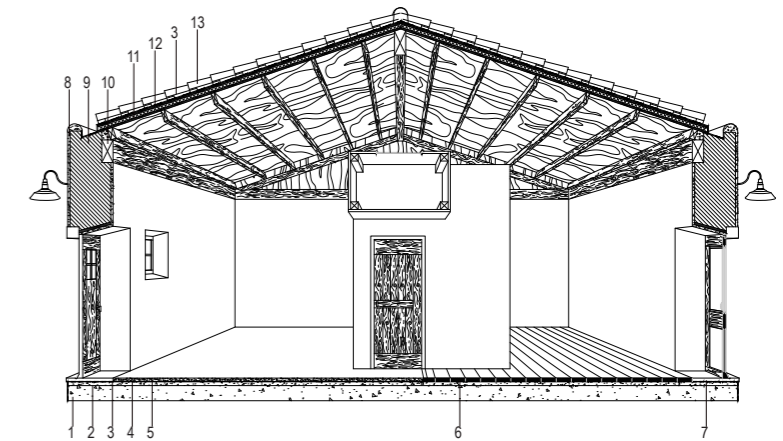


Legenda alojamento no antigo armazém:

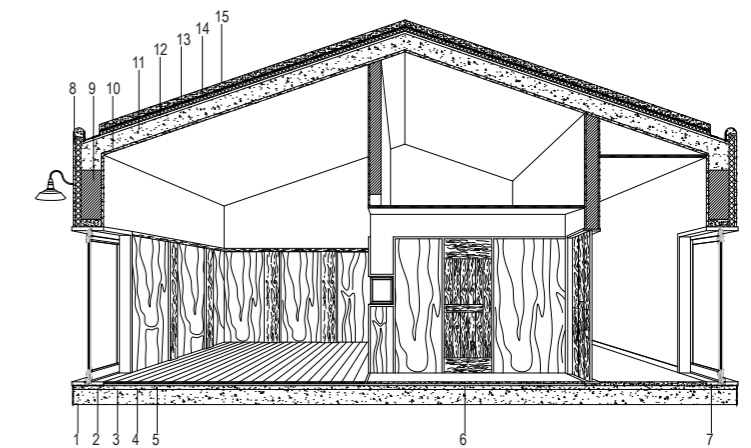
- 1 - Laje em Betão
- 2 - Camada de Regularização
- 3 - Tela de Impremeabilização
- 4 - Cortiça
- 5 - Acabamento em Microcimento
- 6 - Soalho em Faia
- 7 - Pedra Liós
- 8 - Reboco
- 9 - Parede de Alvenaria Existente
- 10 - Madre
- 11 - Placa de Contraplacado
- 12 - Isolamento térmico
- 13 - Telhas tradicionais

Legenda alojamento novo:

- 1 - Laje em Betão
- 2 - Camada de Regularização
- 3 - Tela de Impremeabilização
- 4 - Cortiça
- 5 - Soalho em Faia
- 6 - Acabamento em Microcimento
- 7 - Pedra Liós
- 8 - Isolamento Térmico
- 9 - Parede de Alvenaria
- 10 - Reboco
- 11 - Estrutura da Cobertura em Betão
- 12 - Camada de Regularização
- 13 - Tela de Impermeabilização
- 14 - Geotextil
- 15 - Acabamento em Betão com Fibras



Escala 1:100



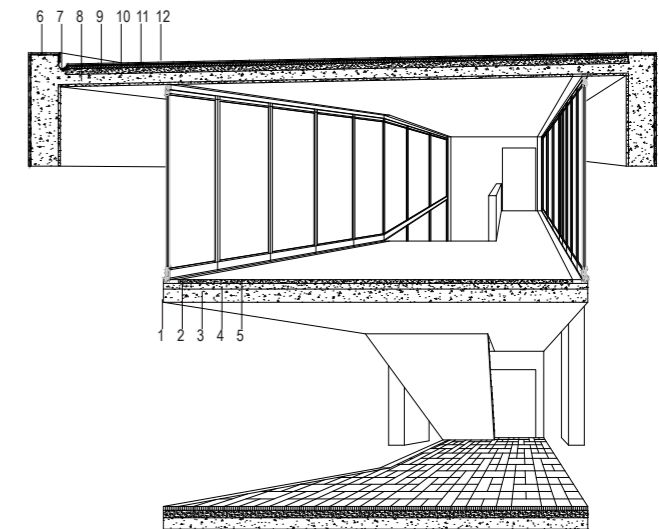
Escala 1:100

Legenda sala de leitura:

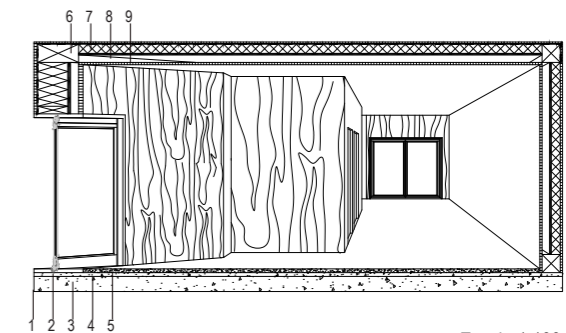
- 1 - Tela de Impremeabilização
- 2 - Pedra Liós
- 3 - Laje em Betão
- 4 - Camada de Regularização
- 5 - Acabamento em Microcimento
- 6 - Reboco
- 7 - Tela de Impremeabilização
- 8 - Estrutura em Betão
- 9 - Camada de Regularização
- 10 - Isolamento Térmico
- 11 - Geotextil
- 12 - Acabamento em Betão com Fibras

Legenda união columbófila:

- 1 - Tela de Impremeabilização
- 2 - Pedra Liós
- 3 - Laje em Betão
- 4 - Camada de Regularização
- 5 - Acabamento em Microcimento
- 6 - Vigas Estruturais em Madeira
- 7 - Painel Sandwich com 10cm de Isolamento
- 8 - Calha Técnica
- 9 - Revestimento em Gesso Acartonado ou Contraplacado



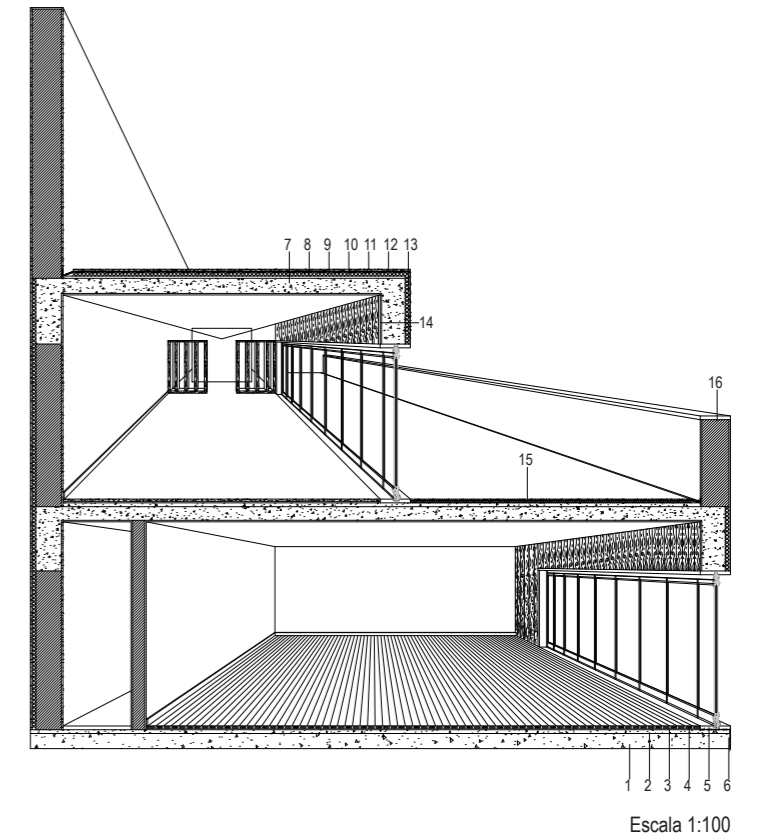
Escala 1:100



Escala 1:100

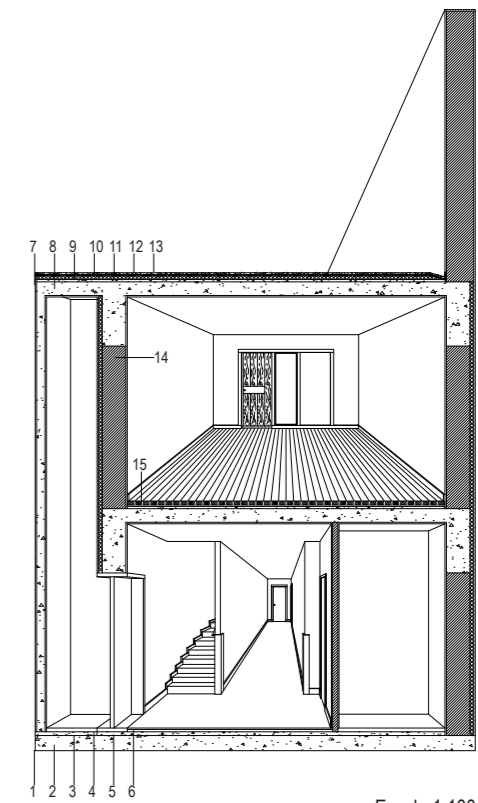
Legenda torre de restauração:

- 1 - Laje em Betão
- 2 - Camada de Regularização
- 3 - Cortiça
- 4 - Soalho em Faia
- 5 - Pedra Liós
- 6 - Tela de Impermeabilização
- 7 - Estrutura em Betão
- 8 - Camada de Regularização
- 9 - Isolamento Térmico
- 10 - Tela de Impermeabilização
- 11 - Geotextil
- 12 - Acabamento em Betão com Fibras
- 13 - Reboco
- 14 - Pannel de Madeira
- 15 - Acabamento em Microcimento
- 16 - Parede de Alvenaria



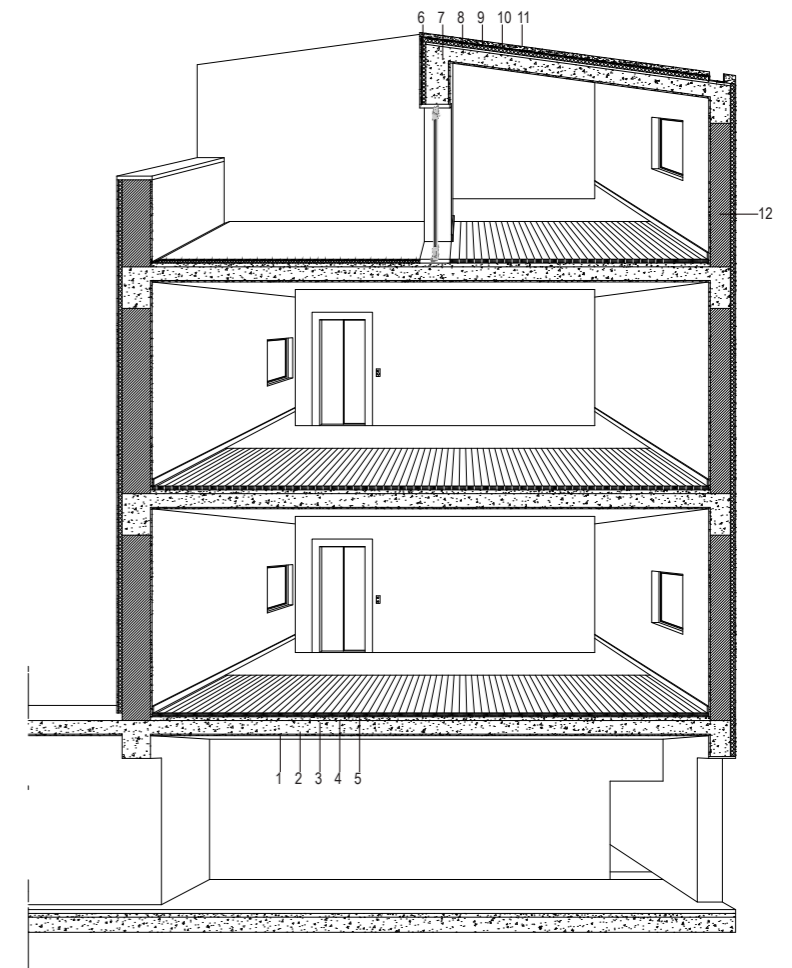
Legenda torre rancho folclórico:

- 1 - Tela de Impermeabilização
- 2 - Laje em Betão
- 3 - Camada de Regularização
- 4 - Pedra Liós
- 5 - Cortiça
- 6 - Acabamento em Microcimento
- 7 - Reboco
- 8 - Estrutura em Betão
- 9 - Camada de Regularização
- 10 - Isolamento Térmico
- 11 - Tela de Impermeabilização
- 12 - Geotextil
- 13 - Acabamento em Betão com Fibras
- 14 - Parede de Alvenaria
- 15 - Soalho em Faia



Legenda torre rancho folclórico:

- 1 - Reboco
- 2 - Laje em Betão
- 3 - Camada de Regularização
- 4 - Cortiça
- 5 - Soalho em Faia
- 6 - Isolamento Térmico
- 7 - Estrutura em Betão
- 8 - Camada de Regularização
- 9 - Tela de Impermeabilização
- 10 - Geotextil
- 11 - Acabamento em Betão com Fibras
- 12 - Parede de Alvenaria



Escala 1:100

