



Instituto Universitário de Lisboa

Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Aline de Souza Gonçalves

Trabalho de projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Arquitetura
(Mestrado Integrado em Arquitetura)

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO INTEGRADA DO
DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAREDES**

Orientador da vertente teórica:
Doutor Vasco Moreira Rato, Professor Auxiliar,
ISCTE-IUL

BIBLIOTECA, MERCADO E PRAÇA DO CARREGADO

Tutor da vertente prática:
Doutor Pedro Pinto, Professor Auxiliar,
ISCTE-IUL

2017

AGRADECIMENTOS

Ao Vasco Rato, pela disponibilidade e entusiasmo desde a primeira conversa, mas também pela sua calma e paciência.

Ao Pedro Pinto, pela sabedoria, tranquilidade, e inspiração em cada conversa.

Ao Marcelo Tavares por despertar a minha curiosidade no ramo da acústica e pelas longas conversas sobre o tema. À Anabela Morgado pelo último esforço.

Ao meu grupo, Jéssica Morgado, Mariana Nunes e Pedro Canêlhas, pelo bom trabalho e cooperação, tanto em conjunto quanto pelo colega, bem como uma partilha de emoções semelhantes.

Aos meus amigos do curso pela partilha de conhecimentos, juízos e emoções. Em especial à Maria Papa pelo sempre, e à Bárbara Constantino e João Machado pelos últimos tempos.

Aos amigos fora do curso, nomeadamente Sofia Criulean e Tatiana Ricardo, pelo forte apoio e paciência, embora por vezes contraditórias.

E, por fim, à família mais próxima – pais, irmãs e avó – pela paciência nos piores momentos e, por serem a minha perseverança e acreditarem sempre em mim.

ABSTRACT

The selection of materials and their respective building solutions form an extremely decisive and complex process. Such process is manipulated not only by the wide variety of these materials but also by the comfort they are meant to provide.

Due to the fact that there is a broad variety of solutions, it becomes slightly complicated to decide which one is the most suitable for this project. The difficulty also arises as the different criteria to be considered are often in conflict with one another.

The aim of this study is therefore to contribute to an integrated selection of building solutions, having focused on the thermal and acoustic performances and the environmental consequences of each one of the solutions analysed.

Twenty-two interior wall solutions were selected and analyzed using MACBETH software as a decision support method, according to the different criteria mentioned above and with different project scenarios, related to the importance of each studied aspect.

The results show that a concrete double block façade is the most suitable and balanced solution for energy and acoustic performances as well as environmental impact. Nevertheless, it was also possible to understand a difference between the behavior of the acoustic and energetic performance in relation to the environmental impact.

Keywords:

building solutions; acoustic performance; MACBETH.

A seleção de materiais, bem como a relativa solução construtiva, constitui um processo decisivo bastante complexo, tanto manipulado pela grande variedade de materiais existente, quanto pelo conforto que estes pretendem proporcionar.

O facto de existir uma grande variedade de soluções construtivas faz com que seja um pouco complicado chegar à solução mais adequada ao projeto, isto pois os critérios a considerar normalmente estão em conflito. Deste modo, o objetivo geral deste estudo é contribuir para uma seleção integrada de soluções construtivas, tendo como análise o desempenho térmico, o desempenho acústico e o consequente impacto ambiental das soluções em análise.

Foram seleccionadas 22 soluções construtivas de paredes interiores e analisadas através de um método multicritério de apoio à decisão – MACBETH, em função dos diferentes critérios mencionados e com diversos cenários de projetos, relacionados com a importância de cada critério.

Os resultados mostram que uma solução de fachada dupla de blocos de betão constitui a solução mais adequada e mais equilibrada visando o desempenho energético, acústico e impacto ambiental. Além deste, foi possível compreender um confronto entre o comportamento do desempenho acústico e energético face ao impacto ambiental.

Palavras-chave:

seleção de paredes; desempenho acústico; análise multicritério
MACBETH.

numa situação de análise multicritério onde se tem em consideração a acústica e a eficiência energética, apenas faria sentido analisar paredes de fachadas de habitação. Neste caso, todas as paredes cumpririam o regulamento, aproximadamente com o mesmo valor, pelo que seria dispensável esta análise multicritério.

Com isto, foi necessário redirecionar o foco do trabalho, tentando encontrar soluções construtivas pertinentes para uma aplicação direta ao trabalho prático de projeto final de arquitetura. Sendo este uma biblioteca, é necessário ter um maior cuidado relativamente à acústica. Foi-se, então, à procura dos requisitos mais limitativos, de modo a que esta análise fosse possível. Estes seriam as paredes interiores que separam os espaços administrativos da sala de leitura e as paredes que separam a sala polivalente da sala de leitura.

Ainda neste mesmo estudo, foi possível compreender que, devido à orientação solar do projeto, neste caso, para a sala polivalente, seria mais conveniente ter o coeficiente de transmissão térmica baixo, de modo a evitar perdas de calor da sala de leitura (climatizada) tendo o melhor comportamento acústico possível; já no cenário dos espaços administrativos, por estar orientada para sul, é importante ter alguma inércia térmica, de modo a equilibrar os ganhos solares.

PREÂMBULO

Este trabalho teve início com um forte interesse sobre a problemática acústica na construção de edifícios. Encontrou-se então a possibilidade de juntar esta vertente – acústica – aos resultados de um estudo anteriormente realizado no ISCTE-IUL, pelo que se optou pelo presente tema de dissertação.

Iniciou-se com o estudo das 27 soluções construtivas analisadas naquele trabalho anterior, comparando a eficácia em termos funcionais, ambientais e acústicos com o auxílio de um método multicritério.

Definido um espaço padrão para o cálculo da acústica, foi necessário avaliar as soluções construtivas em função das diferentes utilizações. Com isto, concluiu-se que algumas soluções não cumpriram os requisitos para situações de divisórias interiores. Porém,

I. ÍNDICE

Preâmbulo	I
Introdução	P. 1
A. Objetivo	
B. Metodologia	
1. Comportamento Acústico	P. 3
A. Noções Gerais	
B. Equipamentos de Medição	
C. Acústica em Edifícios	
D.. Legislação – RRAE	
2. Seleção de soluções construtivas	P. 35
A. Análise Multicritério de Apoio à Decisão	
B. MACBETH	
C. Critérios	
D. Escolha das Soluções Construtivas	
E. Cenários	
F. Cenários no Modelo MACBETH	
3. Resultados	P. 53
5.1. Comparação entre Cenários	
5.2. Comparação entre Área/Volume	
4. Considerações Finais	P. 64
5. Bibliografia	P. 66
6. Anexos	P. 69
7. Biblioteca, Mercado e Praça do Carregado	P. 79

II. ÍNDICE DE IMAGENS

Figura 1. A anatomia do ouvido	P. 4	Figura 24. Gráfico Local A e respetivas cenários	P. 55
Figura 2. Movimento da onda sonora	P. 5	Figura 25. Critérios: Carbono Incorporado, Eficiência Energética e Inércia Térmica	P. 56
Figura 3. Variação de pressão em função do tempo	P. 5	Figura 26. Gráfico Local B e respetivos cenários	P. 57
Figura 4. Frequência sonora humana	P. 6	Figura 27. Gráfico Local C e respetivos cenários	P. 58
Figura 5. Sons de instrumentos diferentes	P. 7	Figura 28. Gráficos relativos ao cenário 1.1 A' – B	P. 60
Figura 6. Escala musical	P. 8	Figura 29. Gráficos relativos ao cenário 1.1 B – C	P. 61
Figura 7. Acelerómetro	P. 11	Figura 30. Gráficos relativos ao cenário 1.2	P. 61
Figura 8. Sonómetro	P. 11	Figura 31. Gráfico relativos ao cenário 2.2	P. 62
Figura 9. Dosímetro	P. 11	Figura 32. Gráfico relativo ao cenário 1.3	P. 62
Figura 10. Analisador	P. 11		
Figura 11. Equipamento de medição sonora para utilização exterior	P. 12		
Figura 12. Tempos de reverberação ideais em função do volume da sala	P. 18		
Figura 13. Geometria e qualidade acústica	P. 18		
Figura 14. Transmissão marginal entre dois compartimentos	P. 19		
Figura 15. Ajustamento da descrição convencional de referência	P. 23		
Figura 16. Seleção de paredes simples	P. 45		
Figura 17. Seleção de paredes duplas	P. 46		
Figura 18. Paredes em análise	P. 48		
Figura 19. Escala do desempenho acústico, cenário 1.1 Administração - Biblioteca	P. 50		
Figura 20. Escala do desempenho acústico, cenário 2.2 Administração - Biblioteca	P. 50		
Figura 21. Julgamentos do cenário 1.1, exemplo de Administração - Biblioteca	P. 51		
Figura 22. Julgamentos dos cenários 1.2 e 1.3, respetivamente	P. 52		
Figura 23. Julgamentos do cenário 2.2, exemplo de Administração - Biblioteca	P. 52		

III. ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. A velocidade do som	P. 6	9. Fórmula de Sabine: Tempo de Reverberação, T_r outras temperaturas	P. 16
Tabela 2. Banda de frequências de oitava e terços de oitava	P. 9	10. Área de Absorção Sonora Equivalente, A_{eq}	P. 16
Tabela 3. Valores da curva de referência do ruído rosa e de tráfego urbano	P. 23	11. Área de Absorção Sonora Equivalente, Simplificado, A_{eq}	P. 16
Tabela 4. Características da caixa de ar	P. 25	12. Fórmula de Eyring, Tempo de Reverberação, T_r	P. 16
Tabela 5. Características do material absorsor	P. 25	13. Fórmula de Millington, Tempo de Reverbera- ção, T_r	P. 16
Tabela 6. Características dos panos	P. 25	14. Tempo de Reverberação para $f > 2000$ Hz, T_r	P. 17
Tabela 7. Limites de exposição sonora exterior	P. 29	15. Índice de Redução Sonora, R	P. 17
Tabela 8. Requisitos acústicos dos edifícios esco- lares e similares	P. 32	16. Índice de Redução Sonora através do Tem- po de Reverberação, R	P. 21
Tabela 9. Requisitos acústicos dos auditórios e salas	P. 33	17. Índice de Redução Aparente, R'	P. 21
Tabela 10. Enumeração e descrição das soluções construtivas	P. 44	18. Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea, Normalizado, D_{nT}	P. 21
Tabela 11. Medidas dos espaços analisados	P. 49	19. Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea, Normalizado, Simplificado, D_{nT}	P. 21
Tabela 12. Melhores resultados em cada Cenário/ Local Recetor	P. 54	20. Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea, Normalizado, $D_{2m,nT}$	P. 21
		21. Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea, Normalizado, Simplificado, $D_{2m,nT}$	P. 22
		22. Índice de Redução Sonora de Paredes Simples, R_{500Hz} se $m < 200$ kg/m ²	P. 22
		23. Índice de Redução Sonora de Paredes Simples, R_{500Hz} se $m \geq 200$ kg/m ²	P. 24
		24. Nível de Redução Sonora Global de Paredes Simples, R_w	P. 24
		25. Índice de Redução Sonora de Paredes Duplas ou Mistas, R_w se $m < 200$ kg/m ²	P. 24
		26. Índice de Redução Sonora de Paredes Duplas ou Mistas, R_w se $m \geq 200$ kg/m ²	P. 24
		27. Valor de Diferença R_w, Dif	P. 25

IV. ÍNDICE DE EQUAÇÕES

1. Pressão Sonora, $p(t)$	P. 6
2. Comprimento de Onda, λ	P. 7
3. Frequência, f	P. 7
4. Nível de Pressão Sonora, L_p	P. 10
5. Nível de Potência Sonora, L_w	P. 10
6. Intensidade Sonora, I	P. 10
7. Nível de Intensidade Sonora, L_i	P. 10
8. Fórmula de Sabine: Tempo de Reverberação, T_r $18^\circ\text{C} < T_r < 20^\circ\text{C}$	P. 16

VERTENTE TEÓRICA

INTRODUÇÃO

A arquitetura, tendo como objetivo servir o ser humano, tem, portanto, o propósito de gerar consigo conforto ambiental. Este, remetendo para o bem-estar do Homem, engloba quatro áreas distintas: a térmica, a acústica, a luminosidade e a ergometria (Kruger & Zannin 2004).

«(...) todo ser humano se cobija, se crea un espacio personal, un territorio móvil o inmóvil cuyas fronteras marca mediante limites simbólicos que se materializan con ciertos objetos rituales o mediante la existencia de techos y muros opacos y resistentes. Estos límites definen un “dentro” y un “fuera”, un “mi casa” y un “la casa de los otros”; pretenden aislar térmicamente, proteger de la intemperie, pero también proteger de la vista y el ruido, sostener un techo o una cubierta, y además materializar “una superficie vacía a llenar, a decorar»

(Ekambi-Schmidt 1974, p. 11)

Tal como Jézabelle Ekambi-Schmidt (1974) afirma, o ambiente interior é um refúgio ao exterior, térmico, visual e acústico. Sendo assim, é bastante importante compreender os mesmos para que este conforto seja atingido.

A preocupação e importância sobre o conforto humano começou a surgir com a evolução dos sistemas construtivos, nomeadamente os elementos estruturais em aço e, posteriormente, o betão armado, que trouxeram a oportunidade de diminuir a espessura das paredes, fazendo com que se perdesse parte do isolamento térmico e acústico, que era melhor conseguido pelas paredes espessas de pedra e/ou alvenaria. Isto fez com que a preocupação com o conforto no interior dos espaços construídos tenha vindo a aumentar com o passar do tempo, isto pois este acaba por influenciar o meio de trabalho e habitabilidade, podendo causar fadiga e stress e, no caso do trabalho, fazer com que haja uma perda de 25 a 30% de rendimento inicial (Paya, 1999).

Esta importância veio arrastar consigo um aumento do consumo de energia no ciclo de vida dos edifícios, tanto na parte de construção dos edifícios, com a energia e gases com efeito estufa incorporados nos materiais, como na parte da sua utilização, com o arrefecimento, aquecimento, iluminação e outros equipamentos, e ainda no fim do seu ciclo de vida. Isto faz com que, nos dias de hoje, os edifícios sejam o sector de maior consumo de energia e emissão de gases com efeito estufa (United Nations Environment Programme, 2010). Por este motivo, cada vez é mais importante adotar estratégias de construção para que haja um equilíbrio entre a função – ou funções – do edifício e o impacto dos mate-

riais nos recursos até ao fim do seu ciclo (*cradle to grave*). Para isto, será necessária uma análise sobre paredes para que se consiga compreender quais terão, portanto, melhor desempenho acústico, energético e menor impacto ambiental.

No âmbito deste trabalho foi escolhido um método de análise multicritério, nomeadamente o *MACBETH*, por permitir uma abordagem que requer julgamento qualitativo (e não quantitativo como é usual nestes métodos) avaliando a atratividade relativa das opções, comparando-as.

Deste modo, este trabalho concentra-se em demonstrar a necessidade da construção de edifícios ambientalmente corretos, ou seja, que sejam eficientes e possuam qualidade ambiental e humana, analisando, neste contexto, como qualidades humanas o desempenho energético e acústico, observando até que ponto estes funcionam em cooperação, e além disso, com o menor impacto ambiental possível.

A. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo a avaliação, através de um caso de estudo, de soluções construtivas de paredes pesadas face ao seu desempenho acústico, térmico, e ainda relativamente ao seu impacto ambiental, de modo a encontrar, no contexto da sua viabilidade construtiva, a melhor solução.

Para este fim, é utilizado um método multicritério de apoio à decisão, para que seja possível equilibrar estes três critérios na fase de projeto.

B. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, é dada mais importância ao critério acústico do que ao critério térmico e impacto ambiental, porém, todos são essenciais para esta investigação, de modo a observar como estes critérios influenciam os materiais a serem utilizados em cada construção.

Deste modo, será recolhido um número de soluções construtivas de paredes pesadas interiores que tendem a respeitar os requisitos de acústica dos edifícios, definidos no Regulamento dos Requisitos Acústicos em E, e, posteriormente, irá estudar-se o seu comportamento térmico e o seu impacto ambiental. Edifícios (RRAE), e, posteriormente, irá estudar-se o seu comportamento térmico e o seu impacto ambiental.

Por fim, serão determinados diferentes cenários onde diferentes valores são atribuídos a cada critério de modo a conseguir-se uma solução mais pertinente para cada cenário, e será analisada a divergência entre os resultados.

1. COMPORTAMENTO ACÚSTICO

A acústica é a ciência, considerada como parte da Física, que estuda o som, a sua propagação, a sua transmissão e os seus efeitos, como a inter-relação com o ser humano, podendo este efeito ser agradável ou desagradável – ruído (Patrício, 2003).

Este capítulo serve como introdução à teoria acústica, onde são apresentados conceitos básicos fundamentais para a compreensão da mesma. Inicia-se com a explicação do próprio ouvido humano, o aspeto básico da fisiologia a considerar; seguidamente da teoria das ondas sonoras bem como a sua forma de propagação. Discute-se também de forma resumida a perceção subjetiva do indivíduo.

Encontra-se ainda de uma forma sintetizada os requisitos regulamentares acústicos existentes atualmente em Portugal.

NOÇÕES GERAIS

ÁUDIO

Áudio, do latim *audio*, é a primeira pessoa do presente do verbo *audire*, ou seja, significa “ouço”.

Sendo assim, entende-se por áudio qualquer fenómeno que ocorra entre as 20 e 20 000 ondas por segundo, pois é entre este intervalo que o ouvido humano consegue perceber sons (Valle, 2009).

OUVIDO HUMANO

O ouvido humano é o órgão responsável pela audição, sendo que, além desta função, tem também

como função o auxílio do equilíbrio, mantendo-nos informados da aproximação de objetos que, por vezes, não vemos. É ainda o órgão mais automático em termos de comunicação. (Patrício, 2003)

O ouvido (Figura 1) é composto por três divisões principais: o ouvido externo, o ouvido médio, e o ouvido interno, sendo que cada um exerce uma função específica de interpretação do som.

O encéfalo, situado perto do cérebro, faz também parte do sistema auditivo e é onde ocorre a interpretação dos sons, sendo através deste que o som tem sentido para nós.

O ouvido externo coleta o som, e transporta-o para o ouvido médio, onde este transforma a onda sonora em vibrações que, por sua vez, formam uma onda de compressão no ouvido interno. O ouvido interno transforma, então, essa energia da onda em impulsos nervosos que vão ser transmitidos ao encéfalo (Spada, 2006). O ouvido externo é composto pelo pavilhão auditivo e pelo canal auditivo. O som entra no canal auditivo de maneira direta ou através de reflexões que ocorrem no pavilhão auditivo, sendo que estas reflexões continuam no canal auditivo até chegarem ao tímpano, já no ouvido médio. São estas sucessivas reflexões que fazem com que consigamos localizar a origem do som.

Já no ouvido médio, o tímpano, como membrana elástica, vibra de acordo com a frequência e amplitude do som, sendo mais rápido quando o som é mais agudo – frequência – e com movimentos maiores quando o som é mais forte – amplitude.

Mesmo que o som seja intenso, os movimentos que ocorrem no ouvido são microscópicos, por isso, os ossículos do ouvido médio, o martelo, a bigorna e o estribo, amplificam o som em aproximadamente vinte e cinco vezes para que o som atinja efetivamente o ouvido interno. No caso de o som ser demasiado intenso, os músculos tensores enrijecem os ossículos, diminuindo os seus movimentos para que, deste modo, o som não danifique o sistema auditivo.

Esta amplificação ocorre porque o ouvido interno é constituído por fluidos e é necessária uma pressão maior para fazer vibrar um líquido, em comparação com o ar.

Ainda do ouvido médio faz parte a trompa de Eustáquio. Esta, ligada à faringe, tem como função equilibrar a pressão de ar quando ocorrem grandes variações

de pressão atmosféricas.

O ouvido interno é constituído pela cóclea, que transforma o som em sinal neural, e pelo labirinto, que tem como função auxiliar o equilíbrio do corpo.

A cóclea contém três canais preenchidos por líquidos, sendo um deles a escala timpânica que é revestida pela membrana basilar. É aqui que os sons graves e agudos são distinguidos, pelas suas diferentes pressões que causam ondulações na membrana basilar. É este movimento da membrana que faz com que seja ativado parte do órgão sensorial de Corti, também situado na membrana basilar, e que converte a energia das vibrações mecânicas do fluido em impulsos elétricos e os enviam ao encéfalo. O encéfalo, por sua vez, interpreta e seleciona os sinais sonoros recebidos pelo ouvido (Rui, 2007).

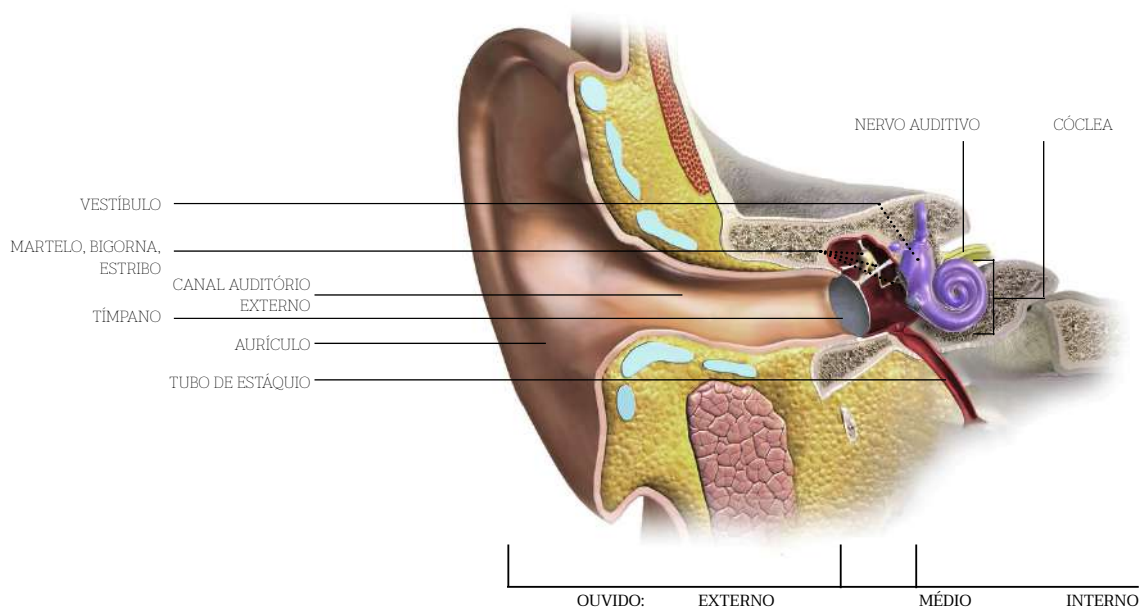


Figura 1. A anatomia do ouvido (adaptada de Blausen.com staff, 2014)

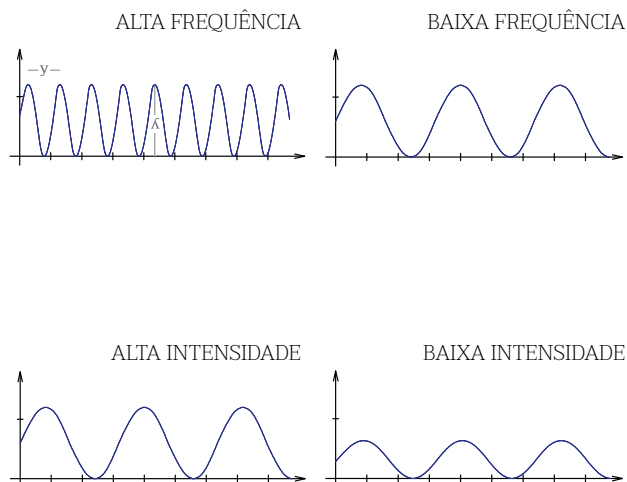


Figura 2. Movimento da onda sonora, (adaptado de Wikipedia, 2005)

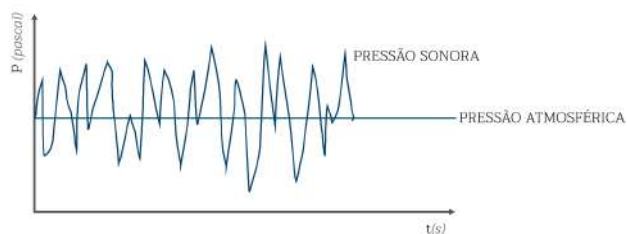


Figura 3. Variação de pressão em função do tempo (adaptado de Imperialum, 2008)

SOM

Para se compreender o movimento do som, antes é necessário relembrar alguns conceitos relacionados com a física, pois o som é um fenômeno físico que se transmite através de uma onda, a onda sonora.

A onda é a variação periódica de uma grandeza física. Esta é composta por cristas, os pontos de maior intensidade, por vales, os pontos de menor intensidade, o pelos níveis médios, que são os pontos entre as cristas e os vales.

A distância entre o nível médio e a crista/vale é chamada de amplitude (y) e a distância entre duas cristas é chamada comprimento de onda (λ), como representado na Figura 2.

O som pode ser definido como uma propagação de energia em forma de onda mecânica que se transmite num determinado meio de propagação (Patrício, 2003), provocando uma vibração. Contudo, esta vibração apenas é considerada como som caso compreenda um determinado intervalo, que varia em frequência e amplitude, e seja, então, sentida pelo ouvido humano.

Os movimentos de uma vibração geram perturbações no meio envolvente através de contrações e dilatações de volumes de ar, ocorrendo uma alteração da pressão atmosférica (Patrício, 2003).

A pressão total resultante $P(t)$ num ponto A corresponde à soma da pressão atmosférica P_0 com a pressão devida às perturbações referidas. Nesta circunstância, define-

-se pressão sonora, $p(t)$ como:

$$p(t) = P(t) - P_0 \text{ [Pa]} \quad [1]$$

O meio de propagação da onda sonora, por sua vez, pode ser sólido, líquido ou gasoso, o que permite que o som possa ter diferentes velocidades de propagação (Silva, 1998). Ao analisar a Tabela 1, é possível compreender que a velocidade de propagação do som depende muito das propriedades do material, sendo mais rápido no meio sólido, posteriormente no líquido, e por fim no meio gasoso. No meio sólido, este ainda depende das propriedades elásticas do material, podendo a velocidade ser superior quando o material é mais rígido, e inferior quando é mais flexível (Almeida, 2009).

Em frequência (Figura 4), o ouvido é sensível a uma variação entre 20Hz e 20.000Hz e, em amplitude, entre uma pressão mínima (limite de audição) de $20\mu\text{Pa}$ e uma pressão máxima (limite da dor) de 20Pa. Ou seja, as frequências que compreendem o intervalo de 20Hz e 20kHz são denominadas como sons, as frequências abaixo de 20Hz são os infrassons e as frequências acima de 20kHz, ultrassons. Dentro da gama audível, ainda é possível distinguir os sons graves, médios e agudos (Patrício, 2003), sendo que o ouvido tem mais sensibilidade a sons médios e agudos.

O som pode ser constituído por um conjunto de sons puros, sendo este uma onda harmónica constituída por apenas um comprimento de onda e uma única frequência. Este pode ser representado pelo gráfico de uma função seno ou cosseno.

Tabela 1. A velocidade do som (Patrício, 2003)

Material	Velocidade de propagação do som (m/s)
Ar (10°C)	331
Ar (20°C)	343
Ar (30°C)	350
Oxigênio	317
Óxido de Carbono	250
Água	1480
Água do Mar	1522
Borracha	54
Alumínio	4420
Aço	6000
Betão	5000
Latão	3500

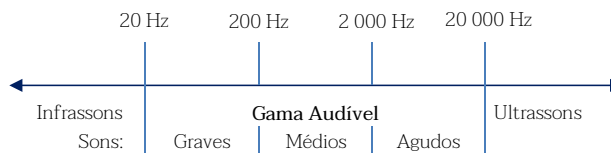


Figura 4. Frequência sonora humana

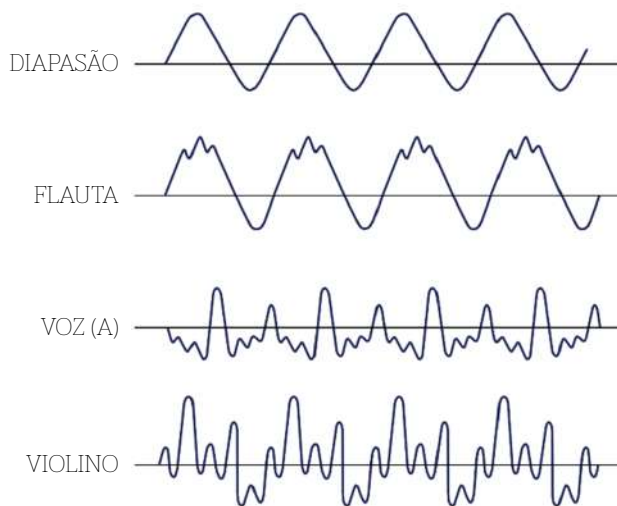


Figura 5. Sons de instrumentos diferentes

Um som puro apenas pode ser gerado eletronicamente, porém, o som do diapasão (Figura 5) é o som real que mais se aproxima ao som puro (Almeida, 2009).

COMPRIMENTO DE ONDA E FREQUÊNCIA

As ondas sonoras têm um determinado comprimento de onda, que corresponde à distância mínima em que uma oscilação se repete e, o tempo que esta mesma oscilação leva a formar designa-se por período (T). A frequência indica o número de ciclos durante um determinado período de tempo.

O comprimento de onda pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}] \quad [2]$$

c – Velocidade do som no ar a 20°C,
igual a aproximadamente 340m/s; *f* – Frequência;

A frequência, como inverso do período:

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{s}^{-1}] \quad [3]$$

f – frequência; *t* – tempo, em segundos

Analisando o caso de duas situações com frequência de 50Hz e outro com 500Hz, os diferentes comprimentos de onda são:

$$\lambda_{50\text{Hz}} = \frac{340}{50} = 6,8 \text{ m}$$

$$\lambda_{500\text{Hz}} = \frac{340}{500} = 0,68 \text{ m}$$

Com isto, é possível concluir que, comparando com frequências mais baixas, as frequências mais altas necessitam de mais ciclos, para percorrer a mesma distância. Isto significa que as frequências mais baixas, ou seja, os sons mais graves, conseguem dissipar mais energia que as frequências mais altas, os sons agudos (Almeida, 2009).

BANDA DE FREQUÊNCIAS

Como já foi referido, o ouvido humano tem sensibilidade a uma vasta gama de frequências, sendo compreensível que seja necessária uma redução da escala para a sua melhor compreensão.

No caso da frequência, para o ouvido humano, a diferença entre um som de 250 Hz e 125 Hz é próxima à diferença entre um som de 2 000 Hz e 1 000 Hz (Mateus, 2008). Por este motivo, optou-se por concentrar a escala de frequências, dando origem às oitavas (Mateus, 2008). Uma oitava é um intervalo entre uma nota musical e outra que tenha o dobro ou metade da sua frequência (Figura 6). Este nome provém, portanto, da escala musical.

Além da oitava, também são utilizadas um terço de oitava, um doze avos de oitava e um vinte e quatro avos de oitava, sendo que os ensaios de um terço de oitava, um doze avos de oitava e um vinte e quatro avos de oitava são realizados em laboratório e os ensaios de uma oitava podem ser efetuadas *in situ* (Almeida, 2009). Normalmente são utilizadas as bandas de oitava e de um terço de oitava, porém, num estudo mais detalhado, podem



Figura 6. Escala musical

Tabela 2. Sons de instrumentos diferentes

Frequência central (Hz)	Bandas de terços (HZ)	Bandas de oitava (Hz)
63	56,2 – 70,8	44,7 – 89,1
80	70,8 – 89,1	
100	89,1 – 112	
125	112 – 141	89,1 – 178
160	141 – 178	
200	178 – 224	
250	224 – 282	178 – 355
315	282 – 355	
400	355 – 447	
500	447 – 562	355 – 708
630	562 – 708	
800	708 – 891	
1 000	891 – 1120	708 – 1410
1 250	1120 – 1410	
1 600	1410 – 1780	
2 000	1780 – 2240	1410 – 2820
2 500	2240 – 2820	
3 150	2820 – 3550	
4 000	3550 – 4470	2820 – 5620
5 000	4470 – 5620	
6 300	5620 – 7080	
8 000	7080 - 8910	5620 – 11200

ser utilizadas bandas de frequência de um doze avos de oitava e um vinte e quatro avos de oitava (Patrício, 2003). Com isto, o intervalo de 20 a 20.000 Hz equivale a uma faixa de frequências de cerca de 10 oitavas, distinguindo cerca de 3 a 4 mil tonalidades diferentes. O ouvido humano atinge uma vasta gama de intensidades, sendo até dito que este consegue atingir o ruído molecular, mas que este não é compreendido devido ao ruído ambiente (Patrício, 2003).

No caso da acústica de edifícios, as bandas de frequência mais utilizadas situam-se entre 100 Hz e 5000 Hz, sendo que no caso de estudos mais específicos, onde a questão da acústica é essencial, esta gama pode estender-se a um intervalo de 63 Hz a 8000 Hz (Patrício, 2003)

A anterior Tabela 2 contém os valores de frequências centrais e respetivos limites das bandas de frequência que se utilizam em acústica de edifícios, oitavas e terços de oitava.

PRESSÃO, POTÊNCIA E INTENSIDADE SONORA

O ouvido humano tem percepção do som numa gama bastante ampla – 20 Hz aos 20 000 Hz –, pelo que uma escala linear seria igualmente ampla e difícil de se expressar. Por isso, foi necessário encontrar uma escala que fosse mais adequada e que permitisse a medição do som de forma mais realista, tanto a nível da pressão sonora, quanto da potência sonora e ainda da intensidade sonora (Patrício, 2003). Assim, procedeu-se a uma com-

pactação destas escalas através de níveis, considerados por valores de referência.

Neste sentido, para a pressão sonora, a escala em Pascal seria uma escala linear, pelo que foi necessário a utilização de uma escala logarítmica de nível de pressão sonora, em decibel (dB). Esta escala acaba por ser mais acertada pelo facto do ouvido humano responder segundo uma escala logarítmica (Almeida, 2009).

O nível de pressão sonora (L_p) é determinado pela seguinte expressão:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p_{ef}^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log \left(\frac{p_{ef}}{p_{ref}} \right) \text{ [dB]} \quad [4]$$

p_{ef}^2 - valor eficaz da pressão sonora para um intervalo de tempo

A potência sonora, por sua vez, representa a energia sonora emitida pela fonte sonora, por unidade de tempo. Esta é independente da localização e do meio em que se encontra, sendo apenas dependente das suas próprias características (Patrício, 2003).

O nível de potência sonora é calculado a partir de:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \text{ [dB(A)]} \quad [5]$$

W - valor da potência sonora da fonte emissora;

W_{ref} - valor de referência de potência sonora igual a 10^{-12} watts;

Contrariamente ao nível de pressão sonora, o nível de potência sonora é expresso em db (A), ou seja, decibéis ponderados. Esta ponderação corresponde a uma correção aplicada ao nível de pressão do som medido, e é considerada como uma aproximação à resposta do ouvido aos níveis normais de ruído.

Relativamente à intensidade sonora, esta representa a quantidade de energia transmitida numa determinada direção por unidade de área de campo sonoro e é dada pela seguinte expressão:

$$I = \frac{W}{A} \quad [6]$$

W - potência sonora da fonte ou equipamento, em watts; A - área de campo sonoro, m^2

A intensidade sonora depende da amplitude da onda e da sua distância à fonte sonora. Isto, pois, uma maior amplitude da onda provoca um aumento da pressão e, conseqüentemente, um aumento da intensidade. Quanto à distância da fonte, quanto mais distante, menor a intensidade.

O nível de intensidade sonora corresponde à média do fluxo de energia sonora transmitida por unidade de tempo por unidade de superfície, dada pela expressão:

$$L_i = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \text{ [dB(A)]} \quad [7]$$

I - valor de intensidade sonora;

I_{ref} - valor de intensidade sonora de referência igual a 15°C , 10^{-12} watts/ m^2 ;



Figura 7. Acelerômetro (Shawcity Limited, 2013)



Figura 8. Sonómetro (Shawcity Limited, 2007)



Figura 9. Dosímetro (Shawcity Limited, 2013)



Figura 10. Analisador (Shawcity Limited, 2013)

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

A caracterização do espaço sonoro, tanto ao ar livre quanto em espaço fechado, é possível através de equipamentos de medição sonora, os quais permitem a tradução da pressão sonora do espaço em informação utilizável (Patrício, 2003). A gama destes equipamentos é bastante vasta, porém, apesar de algumas diferenças, todos os aparelhos são constituídos por três partes essenciais (Mateus, 2008):

- Transdutores para a aquisição do som – converte a pressão sonora em sinal elétrico. No caso de medições acústicas utilizam-se microfones e, no caso de medição de vibrações, acelerómetros (Figura 7);
- Condicionador do sinal – sistema de amplificação do sinal ou, caso sejam muito fortes, diminuição;
- Sistema de tratamento e análise do sinal – dispositivos de leitura da medição.

No que diz respeito aos aparelhos, estes podem medir a pressão sonora – os sonómetros (Figura 8) e dosímetros (Figura 9), ou medir a intensidade sonora – as sondas de intensidade. Além disso, alguns destes aparelhos podem ser mais complexos e visualizar em tempo real o espectro em frequências de bandas de oitava – os analisadores (Figura 10). Os aparelhos podem, ainda, medir em simultâneo a pressão, intensidade e vibração mecânica, ao que se chama analisadores multicanais (Mateus, 2008).

Para medições no exterior, utilizam-se os mesmos equipamentos, porém, estes são adaptados para proteger das condições climáticas e evitar atos de vandalismo ou furto, como a Figura 11.

De acordo com o Decreto-Lei n°291/90 e a portaria n° 1069/89, no caso de medições de ruído ambiente ou acústica de edifícios, o equipamento deve ser aprovado por parte do Instituto Português da Qualidade (IPQ). A norma NP 1730 refere que o equipamento deve ser, também, de classe 1 (EN 61672-1, EN 61260) e deverá existir com este um calibrador de classe 1 (EN 60942) para o ajuste do equipamento antes de cada conjunto de medições.

No caso da acústica de edifícios, para além do equipamento de medição de classe 1 e do seu calibrador, é ainda necessário a utilização de uma fonte de ruído teste, sendo este uma fonte sonora de emissão de ruído aéreo e uma fonte de percussão normalizada (Mateus, 2008).



Figura 11. Equipamento de medição sonora para utilização exterior (Shawcity Limited, 2013)

ACÚSTICA EM EDIFÍCIOS

De modo a compreender o quão importante é o fator da acústica num edifício, é necessário compreender também o quão prejudicial é o ruído.

O som sempre fez parte da vida quotidiana, porém, nem todo o som é considerado como agradável e desejado; pelo contrário, a maior parte do som é indesejado e incomodativo, sendo este considerado como ruído (Patrício, 2003). Este é mais ou menos desagradável dependendo de pessoa para pessoa, do momento e do local, não depende, portanto, das suas características físicas (amplitude, frequência e duração).

Segundo a Organização Mundial de Saúde, o ruído é considerado a terceira maior causa de poluição e cada vez mais é considerado como uma preocupação.

O ruído tem vindo a aumentar abundantemente nos últimos tempos, afetando assim, o bem-estar físico e psíquico dos indivíduos (Patrício, 2003). Se no exterior há excesso de ruído relativamente às redes de transportes, obras, áreas de lazer, indústria, entre outros, no interior devido a uma série de equipamentos ruidosos. Por este motivo, o ruído tem vindo a ser cada vez mais importante e começa a causar diversos problemas de saúde, como o stress, problemas de sono, cansaço, queda de produtividade, entre outros.

As diretrizes da OMS dizem ainda que o ruído deve permanecer abaixo dos 50dB durante o dia e abaixo dos 30dB durante a noite, num quarto, para providenciar uma boa noite de sono, e abaixo de 40dB de média anual

fora dos quartos para que não cause, assim, prejuízos ao ser humano. (World Health Organization n.d.)

Esta subida dos valores dos níveis sonoros traz consigo uma enorme preocupação relativamente a todas estas consequências a nível da saúde, fazendo com que diversas entidades, tanto públicas como privadas, tenham interesse em resolver a questão da problemática do meio ambiente. Esta preocupação é ainda maior quando afeta o interior dos edifícios, prejudicando, assim, a produtividade dos trabalhadores nos seus locais de trabalho (Patrício, 2003).

TIPOS DE RUÍDO

A caracterização do ruído é feita, normalmente, através de uma amostra de determinado período de tempo, com o intuito de se representar uma perspetiva a longo prazo. A duração destes períodos deve ser em função da instabilidade temporal dos níveis sonoros. Em função desta, podem-se considerar quatro tipos de ruído: o ruído contínuo, como é o exemplo do funcionamento de um aparelho; o intermitente, como a sirene da ambulância; o impulsivo, causado por picos de curta duração; e ruído flutuante aleatório, o mais comum, onde a variação dos níveis sonoros é elevada e aleatória.

Relativamente ao que estes tipos de ruído podem causar ao ouvido humano, sinais sonoros de longa duração são interpretados com intensidade semelhante à intensidade real do sinal; sinais impulsivos, quase não são perceptíveis pelo ouvido humano, a não ser que te-

nam elevadas amplitudes, podendo causar trauma auditivo, isto porque são tão rápidos que não há tempo de ativar o sistema de defesa do ouvido. Sinais com pouca variação de amplitude tendem a ativar este sistema de defesa, de modo que há uma diminuição temporária da audição.

Num contexto de acústica de edifícios, ainda é possível repartir o ruído em dois modelos-tipo, o ruído branco e o ruído rosa.

O ruído branco é aquele cujo, numa escala linear, o valor de nível de pressão sonora é constante no domínio da frequência e, numa escala logarítmica, este mesmo valor cresce 3 dB. O ruído rosa é aquele cujo, numa escala linear, valor de pressão sonora decresce 3 dB para frequências que definam entre si um intervalo de uma oitava e, numa escala logarítmica, este mesmo valor mantém-se constante (Patrício, 2003).

ACÚSTICA EM EDIFÍCIOS

Em seguimento à introdução ao ruído, é possível compreender que há uma necessidade de diminuir os efeitos negativos do ruído, seja em edifícios de serviço ou edifícios de habitação.

Em qualquer um dos tipos de edifícios mencionados, é importante assegurar proteção contra o ruído de vizinhança, e proteger a vizinhança do ruído produzido no edifício. Isto pode ser feito através de um tratamento dos meios de transmissão e/ou proteção nos recetores (Mateus, 2008). Sendo mais complicado haver uma redução da emissão de ruído, é compreensível que, neste caso de aplicação aos edifícios, seja necessário reduzir o meio de transmissão ou propagação deste, tanto ao nível de sons entre o interior e o exterior, quanto aos sons da própria utilização do edifício. Assim, é claro que os sons provenientes do exterior irão influenciar o tipo de isolamento sonoro da parede em contacto com o exterior e o tipo de sons provenientes do interior irão influenciar o isolamento sonoro dos compartimentos interiores (Patrício, 2003).

Para controlar a propagação do som emitido no interior do edifício existem, pelo menos, três situações a serem consideradas:

- A propagação sonora dentro do próprio espaço fechado, ou seja, o condicionamento acústico. Este depende, fundamentalmente, da geometria e dos elementos constituintes do espaço.

- A propagação de sons aéreos entre dois espaços fechados, por via aérea. Este depende do isolamento sonoro entre os dois espaços.
- A propagação de sons por via sólida, ou seja, associada aos elementos de construção e às suas ligações (Mateus, 2008).

Em relação à transmissão sonora no exterior, podem considerar-se dois tipos de transmissão: a transmissão do exterior para o interior do edifício, o que permite a execução de uma envolvente adequada à proteção contra o ruído exterior, e ainda o ruído proveniente do próprio edifício, como é o exemplo dos sistemas AVAC, que influenciam o ruído exterior (Almeida, 2009).

CONDICIONAMENTO ACÚSTICO INTERIOR

Relativamente ao condicionamento acústico interior, este está muito ligado à geometria do espaço, das superfícies que o envolvem e do que se encontra no interior desse espaço – o mobiliário, sendo que se torna mais complexo quanto mais irregular for o espaço (Mateus, 2008).

Em laboratório, é possível criar dois tipos de salas com características opostas, sendo uma totalmente absorvedora, a câmara anecoica, e outra totalmente refletora, a câmara reverberante.

As câmaras anecoicas são salas vazias onde não existe reflexão. Isto, porque, a sala é constituída apenas por su-

perfícies absorvedoras, pelo que, todo o som produzido é completamente absorvido pelo material da envolvente do espaço. Por estas características, este é considerado um campo difuso livre.

Em oposição, as câmaras reverberantes são salas vazias cujas superfícies envolventes são completamente refletoras. Isto faz com que qualquer som emitido, seja infinitamente refletido, tornando a distribuição sonora constante em qualquer ponto da sala, tornando este um campo sonoro difuso.

Em edifícios, não existem campos sonoros totalmente difusos ou totalmente livres, pois no seu interior encontram-se diversos materiais, tanto absorvedores como refletores, e ainda materiais que absorvem parte da energia sonora e refletem outra parte da mesma, ou seja, os materiais são heterogêneos (Almeida, 2009).

Em edifícios onde a qualidade do som é um parâmetro crítico, é essencial proceder a um estudo rigoroso onde se tem em atenção a distribuição do som no interior, o tempo de reverberação ideal para a utilização do espaço, o ruído de fundo, que deve ser o mais baixo possível, e a inteligibilidade do som no interior. Dos critérios anteriormente referidos, o tempo de reverberação é o mais utilizado.

O tempo de reverberação corresponde ao período de tempo necessário para haver um decaimento de 60 dB após a paragem da emissão do som. Este valor, na prática, é difícil de ser medido devido ao ruído de fundo, sendo normalmente extrapolado a partir do decaimento

de 20 a 30 dB.

Uma diminuição do tempo de reverberação nos ambientes públicos é importante, mas faz com que haja uma diferença do som muito acentuada nos vários pontos do recinto, contudo, esta diminuição é possível sem que isto aconteça com a implementação de amplificadores sonoros.

Existem diversas expressões que calculam a previsão do tempo de reverberação, sendo a mais simples e utilizada, a fórmula de Sabine (Almeida, 2009). Para ambientes com temperatura entre os 18°C e os 20°C:

$$T_r = \frac{0,16xV}{A_{eq}} [s] \quad [8]$$

Para outras temperaturas:

$$T_r = \frac{55,2xV}{A_{eq}x c_0} [s] \quad [9]$$

V – volume da sala; A_{eq} – área de absorção sonora equivalente;
 c_0 – velocidade de propagação do som no ar.

A área de absorção sonora equivalente corresponde à área de absorção das ondas sonoras dos componentes da sala:

$$A_{eq} = \sum_{i=1}^n S_i x \alpha_i + \sum_{j=1}^n n_j x A_j [m^2] \quad [10]$$

S_i – área da superfície; α_i – coeficiente de absorção sonora do material da superfície; n_j – número de elementos existentes na sala;
 A_j – área de absorção equivalente desses elementos.

Alguns valores de A e α encontram-se tabelados na norma EN 12354-1. Os que não se encontram na norma, podem ser conseguidos através da comparação da sala com e sem o objeto em questão.

Tendo como simplificação do cálculo da área de absorção sonora equivalente:

$$A_{eq} = \sum_{i=1}^n S_i x \alpha_i + \sum_{j=1}^n n_j x A_j = S x \bar{\alpha} [m^2] \quad [11]$$

$\bar{\alpha}$ = coeficiente de absorção sonora medio das superfícies do compartimento;
 S – superfície total dos parâmetros envolventes da sala;

Quando:

$\bar{\alpha} < 0,15$, a fórmula de Sabine é a mais indicada;
 $\bar{\alpha} \geq 0,15$, utiliza-se a fórmula de Eyring quando a distribuição dos elementos absorsores é mais uniforme; utiliza-se a fórmula de Millington, quando a mesma é menos uniforme;

Fórmula de Eyring:

$$T_r = \frac{-0,16 x V}{S_{total} x \ln(1-\bar{\alpha})} = \frac{-0,16 x V}{2,3 x S_{total} x \log(1-\bar{\alpha})} [s] \quad [12]$$

Fórmula de Millington:

$$T_r = \frac{-0,16 \times V}{\sum_{i=1}^n S_i \times \ln(1-\bar{\alpha})} = \frac{-0,16 \times V}{2,3 \times \sum_{i=1}^n S_i \times \log(1-\bar{\alpha})} \quad [\text{s}] \quad [13]$$

Para frequências superiores a 2 000 Hz utiliza-se a seguinte fórmula:

$$T_r = \frac{0,16 \times V}{A_{\text{eq}} \times 4 \times m \times V} \quad [\text{s}] \quad [14]$$

m – valor do coeficiente de atenuação sonora tabelados na norma EN 12354-6

A realização deste estudo tem como fim a obtenção de um ambiente com qualidade acústica, ajustado à sua própria função. Porém, existem situações onde este estudo compete apenas para a redução dos níveis de ruído provocadas pela própria utilização do espaço. Neste caso, o estudo pode simplificar-se com a aplicação de materiais porosos e elementos com elevada absorção sonora para que o nível de reflexão seja reduzido (Mateus, 2008), como é o exemplo de materiais absorventes, painéis ressonantes, ou painéis de face perfurada (Almeida, 2009).

Relativamente ao acompanhamento do tempo de reverberação com a função da sala, este depende de vários fatores. Por exemplo, para um espaço onde a audição do orador é essencial, o tempo de reverberação deverá ser mais baixo para uma maior compreensão e transmissão da mensagem. Porém, se este for demasiado baixo, ou seja, se a absorção sonora do local for muito

elevada, o orador terá de aumentar a sua potência sonora para se fazer compreender melhor (Patrício, 2003).

Já para o caso de uma sala de espetáculos, o tempo de reverberação necessita de ser um pouco mais elevado, dependendo, porém, do tipo de espetáculo, como se pode verificar na Figura 12. Além de variar com a função do espaço, este também varia com o volume da própria sala, devendo ser maior à medida que o volume aumenta. Para o caso de frequências mais altas, o tempo de reverberação deve ser mais baixo, enquanto que para frequências mais baixas, o tempo de reverberação deve ser mais alto (Mateus, 2008).

O cuidado com uma distribuição do som uniforme faz com que o som produzido chegue a todos os pontos do seu interior com o mesmo nível e sem distorções. Porém, na realidade, estas distribuições apresentam quebras, sendo estas mais frequentes com o aumento do volume e ausência de sistemas de amplificação do som (Mateus, 2008). A finalidade do sistema de amplificação é a possibilidade de reduzir os tempos de reverberação sem que haja uma variação excessiva nos níveis sonoros no interior do espaço, sendo que a ausência destes sistemas pode fazer com que ocorram fenómenos de reflexão indesejáveis, como o exemplo de ecos múltiplos, os ecos e focalização de ondas sonoras (Patrício, 2003).

Os ecos múltiplos são repetições múltiplas, com intervalos de tempo muito pequenos, do som produzido por uma fonte sonora. Estas ocorrem quando existem duas superfícies paralelas refletoras próximas à fonte sonora.

Por sua vez, para que ocorra eco, não é necessário que haja duas reflexões; apenas que num espaço fechado haja superfícies refletoras e que a diferença entre o trajeto do som direto e do som indireto seja pelo menos 17 metros entre a fonte e o recetor.

Em relação à focalização de ondas sonoras, esta pode ser obtida em salas com paredes côncavas. Isto, porque as distribuições de ondas sonoras nestas paredes não são uniformes, podendo ocasionar a sua focalização em algumas zonas (Mateus, 2008). Por este motivo, é pertinente mencionar que, na questão da acústica do espaço, a geometria torna-se também bastante relevante (Figura 13).

A inteligibilidade dos sons ou palavras também é um parâmetro essencial que pode, facilmente, ser prejudicada devido à ocorrência dos anteriores fenômenos de reflexões indesejadas. Este parâmetro avalia em percentagem a quantidade de sons/palavras que se conseguem compreender relativamente à totalidade de sons/palavras emitidas. A quantificação rigorosa desta é conseguida de forma experimental recorrendo à medição do índice RASTI, ou índice de transmissão rápida de linguagem. Este utiliza uma escala de 0 a 1, onde 0 corresponde a inteligibilidade nula e 1 a inteligibilidade perfeita, sendo de 0,5 a 0,64 aceitável, de 0,65 e 0,85 boa e acima de 0,85 perfeita (Mateus, 2008).

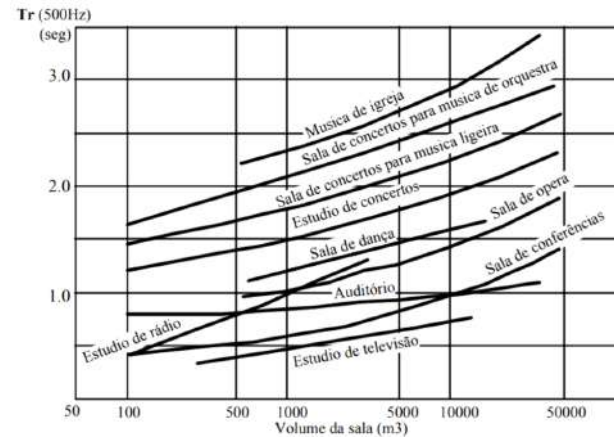


Figura 12. Tempos de reverberação ideais em função do volume da sala (Mateus, 2008)

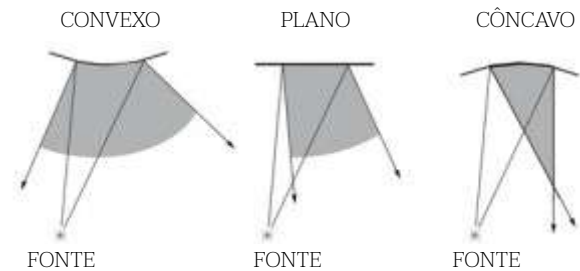


Figura 13. Geometria e qualidade acústica (Vitor Litwinczik, 2013)

PROPAGAÇÃO SONORA POR VIA AÉREA

A propagação sonora por via aérea é um dos aspetos mais importantes no conforto acústico dos edifícios. Este é controlado através do isolamento acústico, tanto nos elementos de fachada como nos elementos de compartimentação interior. É então pertinente que o isolamento em causa seja adequado e obedeça às exigências funcionais estabelecidas no regulamento em vigor de modo a satisfazer as condições de conforto interior.

O campo sonoro a estabelecer-se no interior do edifício pode surgir de diversas fontes sonoras. Portanto é pertinente saber de que natureza esta surge para que possa ser devidamente isolada. As fontes podem, portanto, ter origem no interior do edifício ou no exterior. Os sons provenientes do exterior pertencem, genericamente, ao tráfego rodoviário, ferroviário e à vida urbana, podendo também pertencer a zonas próximas de locais aeroportuários, áreas industriais ou divertimento público, que podem ser bastante incómodativos do ponto de vista acústico para os ocupantes de edifícios nas suas proximidades. Deste modo, é importante ter em conta todos os tipos de ruído presentes no local para poder controlá-los ao máximo no interior dos espaços em fase de projeto.

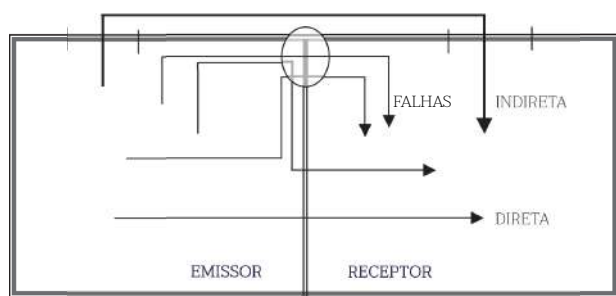


Figura 14. Transmissão marginal entre dois compartimentos (Imperialum, 2008)

Os sons provenientes do interior são os sons do interior do edifício, ou seja, são produzidos durante a utilização, através dos ocupantes ou do funcionamento de equipamentos (Patrício, 2003). Além disto, a transmissão sonora entre dois compartimentos interiores é um fenómeno complexo que envolve não só a trans-

missão direta, ou seja, através do elemento de separação comum aos compartimentos, mas também envolve a transmissão indireta, através de elementos adjacentes, como é representado na Figura 14 (Mateus, 2008).

O cálculo do índice de isolamento acústico a sons aéreos pode ser feito segundo dois métodos, o método de medição, através de medições in situ ou laboratoriais, e o método de previsão, com base em modelos teóricos, a ser executado em fase de projeto.

Segundo a regulamentação nacional, o Regulamento de Requisitos Acústicos em Edifícios, o índice de isolamento sonoro que indica o isolamento do elemento de fachada é definido por $D_{2m,nT,w}$, sendo este medido a uma distância de 2 metros da própria fachada. Neste seguimento, o termo n refere-se ao facto do isolamento sonoro ser normalizado para uma área de absorção sonora de 10 m^2 e o termo w refere-se à tradução desse isolamento mediante um valor único ponderado (“índice”).

Com relação aos elementos de compartimentação interior, o índice de isolamento sonoro designa-se por $D_{nT,w}$, onde o subscrito tem o mesmo significado anteriormente referido.

Relativamente às coberturas, não existe normalização nacional e internacional que indique o valor regulamentar a considerar para o seu desempenho, pelo que se admite este como uma fachada horizontal ou ligeiramente inclinada, utilizando o índice relativo a elementos de fachada.

MÉTODOS DE MEDIÇÃO

Os métodos de medição do isolamento a sons aéreos baseiam-se na realização de campanhas de medições adequadas, sendo que algumas podem ter lugar in situ e/ou em laboratório, e outras, devido a certas condições de ensaio, apenas podem ser realizadas em determinados tipos de laboratório.

As medições realizadas in situ possibilitam a avaliação da conformidade do isolamento sonoro a sons aéreos dos edifícios com objetos fixados, sendo que as medições realizadas em laboratório obedecem a condições padronizadas definidas em normalização, permitindo comparações de eficácia.

Existem três diferentes técnicas de medição:

- Método de caracterização experimental – possibilita a caracterização do isolamento a sons aéreos no domínio da frequência e efetua a sua quantificação, segundo a norma EN ISO 140-3 para ensaios em laboratório, a norma EN ISO 140-4 para ensaios in situ entre compartimentos e, finalmente, a norma EN ISO 140-5 para ensaios in situ de fachadas.
- Método da holografia acústica – permite a identificação de fontes de ruído muito específicas, através da reconstrução tridimensional de ondas sonoras, correspondentes à envolvente da fonte.
- Método da intensimetria acústica – método utilizado na avaliação da potência sonora dos equipamentos e na caracterização dos campos de vibração.

Os dois últimos métodos são menos utilizados pois necessitam de determinadas condições de ensaio, como zonas onde o campo sonoro refletido é restrito ou nulo, como é o caso de câmaras anecoicas, semi-anecoicas ou campo aberto no exterior.

Em relação ao método de caracterização experimental, este é o método mais utilizado. Além das três normas referidas, existe ainda a norma EN ISO 140-9 para o isolamento de tetos falsos com caixa de ar e a norma EN ISO 140-10 para elementos de construção com área inferior a 1m².

Para ensaios de elementos entre compartimentação em laboratório, é efetuada a quantificação do isolamento através da norma EN ISO 140-3, que determina o índice de redução sonora R, com a seguinte expressão:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A_{\text{recetor}}} \right) \text{ [dB]} \quad [15]$$

Sendo A_{recetor} a área de absorção sonora equivalente da câmara recetora, é possível calcular a mesma expressão tendo em conta o tempo de reverberação, determinado pela expressão [9]:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S \times T_r}{0,16 \times V} \right) \text{ [dB]} \quad [16]$$

L_1 e L_2 – níveis médios de pressão sonora medidos na câmara emissora e na câmara recetora, respetivamente, em dB; T_r – média dos tempos de reverberação medidos na câmara recetora, em segundos; S – área do provete de ensaio, 10m²; V – volume da câmara recetora, em m³.

Este índice determinado in situ, sob a norma EN ISO 140-4, é designado como índice de redução aparente. Este difere do valor laboratorial pelo fato de considerar valores de transmissão marginal, os quais não existem em laboratório e tem como expressão:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \text{ [dB]} \quad [17]$$

A – área de absorção sonora do local recetor.

No caso de elementos entre compartimentação in situ, os procedimentos são semelhantes, mas em vez do índice R, é determinado o isolamento sonoro de sons de condução aérea normalizado, D_n .

O índice de isolamento sonoro de sons de condução aérea normalizado, D_{nT} , é definido, então, pela seguinte expressão:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ [dB]} \quad [18]$$

Esta expressão, simplificada através da expressão [18]:

$$= [L_1 - L_2 + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right)] - 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) =$$

$$\text{Sendo } T_r = \frac{0,16 \times V}{A_{\text{eq}}}$$

$$D_{nT} = R' + 10 \log \left(\frac{A}{S} \times \frac{T}{T_0} \right) = R' + 10 \log \left(\frac{A}{S} \times \frac{0,16 \times V}{A} \times \frac{1}{T_0} \right) =$$

$$\text{Sendo } T_0 = 0,5 \text{ s}$$

$$D_{nT} = R' + 10 \log \left(\frac{A}{S} \times \frac{0,16 \times V}{A} \times \frac{1}{0,5} \right) =$$

$$D_{nT} = R' + 10 \log \left(\frac{0,32 \times V}{S} \right) \text{ [dB]} \quad [19]$$

Para o isolamento de fachada, na qual é utilizada a norma EN ISO 140-5:1998, segundo o Decreto-Lei 96/2008, determina-se o isolamento sonoro de sons de condução aérea normalizado, $D_{2m,n}$, através da expressão:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \text{ [dB]} \quad [20]$$

L_{1,2m} – nível médio de pressão sonora medidos a 2m da fachada do edifício.

Sendo que, simplificado:

$$D_{2m,nT} = R'_{45^\circ} + 10 \log\left(\frac{0,32 \times V}{S}\right) \text{ [dB]} \quad [21]$$

R'_{45°} – índice de redução sonora aparente medidos a 2m da fachada e com ângulo de incidência de 45°

Segundo as normas anteriormente referidas, estes ensaios são feitos para bandas um terço de oitava de frequências centrais entre 100 e 5 000 Hz para medições em laboratório e de 100 a 3 150 Hz para medições in situ. Podem ainda ser consideradas as bandas de frequência iguais a 50, 63 e 80 Hz e, nas medições in situ, pode se adicionar as frequências de 4 000 e 5 000 Hz para uma comparação com os resultados de laboratório. Para estes ensaios, é dada preferência às bandas de frequência de um terço de oitava, porém, nos ensaios in situ, é possível serem feitas a partir das bandas de oitava, entre as frequências centrais de 125 e 2 00 Hz, podendo incluir as frequências centrais de 63 e 4 000 Hz.

Para a confirmação dos valores obtidos com a

legislação, é necessário fazer uma conversão destes valores para valores únicos, os índices R_w , $D_{nT,w}$, $D_{2m,nT,w}$. Estes são obtidos por comparação com a descrição convencional de referência que consta na Norma EN ISO 717-1.

Esta descrição convencional de referência encontra-se ajustada às curvas de isolamento (Figura 15) quando o valor médio (soma, em módulo, de todas as diferenças negativas entre ambas as curvas a dividir pelas 16 bandas) dos desvios desfavoráveis é o maior possível sem ultrapassar os 2 dB, sendo este considerado desfavorável quando a curva de isolamento se encontra inferior à curva de referência (Imperialum, 2008).

Após este ajustamento, o índice R_w , $D_{nT,w}$ ou $D_{2m,nT,w}$ corresponde ao valor da ordenada da descrição convencional de referência para a frequência de 500 Hz, tal como demonstra a Figura 15.

Além dos índices referenciados, existem também outros espectros que podem ser utilizados, dependendo da legislação observada e dependendo das características desejadas, pois, por vezes, a curva de referência não atribui convenientemente o tipo de isolamento existente.

Um exemplo de outro espectro é, então, o “Ruído Rosa” (C) e o “Ruído de Tráfego Rodoviário Urbano” (C_{tr}), servindo para a caracterização do desempenho de elementos de construção. Tal como anteriormente mencionado, segundo a norma EN ISO 717-1, o ruído rosa corresponde ao espectro em que o valor do nível

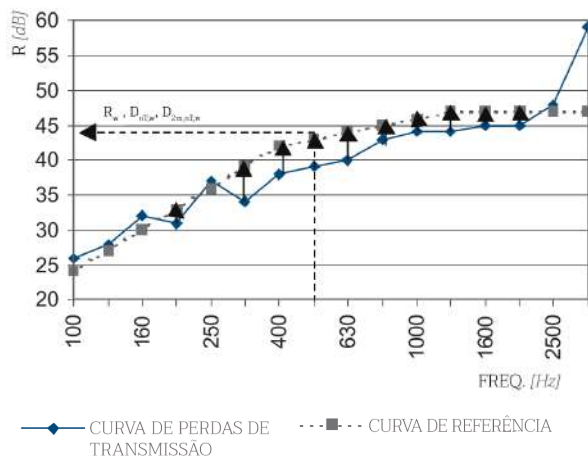


Figura 15. Ajustamento da descrição convencional de referência (adaptado de Priberalum, 2008)

Tabela 3. Valores da curva de referência do ruído rosa e de tráfego urbano (adaptada de (Almeida, 2009))

Frequência	Ruído Rosa	Ruído de Tráfego Urbano
100	X-29	X-20
125	X-26	X-20
160	X-23	X-18
200	X-21	X-16
250	X-19	X-15
315	X-17	X-14
400	X-15	X-13
500	X-13	X-12
630	X-12	X-11
800	X-11	X-9
1000	X-10	X-8
1250	X-9	X-9
1600	X-9	X-10
2000	X-9	X-11
2500	X-9	X-13
3150	X-9	X-15

de pressão sonora decresce 3 dB para frequências que definam, entre si, um intervalo de uma oitava; o ruído de tráfego rodoviário urbano, tal como o nome indica, refere-se a ruído de transportes, tal como de tráfego de veículos, ferroviários em velocidade reduzida, e aéreo. A este último acrescenta-se o ruído de discotecas e oficinas que emitam ruído em baixas e médias frequências. O cálculo dos índices C e C_{tr} são feitos de maneira semelhante à curva de referência, ou seja, a soma das diferenças negativas a dividir pelas 16 bandas tem de se aproximar do valor 2, sem ultrapassar. Porém, há uma alteração nos valores das curvas de cada banda de frequências, como mostra na Tabela 3 (Patrício, 2003).

Estes valores são apresentados como valor único da seguinte forma:

$$R_w(C; C_{tr}) = 54 (-1; -5) \text{ dB}$$

sendo determinados através da diferença entre os mesmos e o valor único da curva de referência, ou seja, se:

$$R_w = 54 \text{ dB}$$

$$R_c = 53 \text{ dB}$$

$$R_{ctr} = 49 \text{ dB}$$

Obtendo-se, então:

$$C = R_c - R_w = -1 \text{ dB}$$

$$C_{tr} = R_{ctr} - R_w = -5 \text{ dB}$$

MÉTODOS DE PREVISÃO

Os métodos de previsão baseiam-se em formulação teórica e traduzem de forma mais ou menos aproximada o comportamento vibracional dos elementos de compartimentação.

Por norma, os métodos de previsão aplicam-se na fase de projeto, aquando a definição da constituição do elemento de compartimentação. Os métodos existentes são:

- Método elasto-dinâmico;
- Método de E. Gerretsen;
- Método de Análise Modal;
- Método dos Elementos Finitos;
- Método de Análise Estatística de Energia

Os métodos mais utilizados na prática corrente para quantificação de desempenho acústico de elementos de compartimentação são: o método de caracterização experimental, o método elasto-dinâmico, e o modelo de simulação.

No caso deste trabalho, optou-se por recorrer ao Modelo Misto, realizado por Mateus e Tadeu em 1999, porque este permite calcular o índice de isolamento sonoro de soluções construtivas simples, sejam estas pesadas ou leves, a partir da sua massa superficial (Almeida, 2009).

Segundo este modelo, a expressão que permite obter o índice de redução sonora, para frequências de 500 Hz

para uma parede simples é:

$$R_{500\text{Hz}} = 13,2 \times \log(m) + 13,8 \quad \text{se } m < 200 \text{ kg/m}^2 \quad [22]$$

$$R_{500\text{Hz}} = 14,3 \times \log(m) + 11 \quad \text{se } m \geq 200 \text{ kg/m}^2 \quad [23]$$

m – massa superficial do elemento construtivo, em kg/m²

Para obter o nível de redução sonora global da solução construtiva, foi proposta pelos mesmos uma simplificação que permite a conversão do valor obtido de 500 Hz para o valor global. Esta é:

$$R_w \approx R_{500\text{Hz}} + 4 \text{ dB} \quad [24]$$

Para o caso de elementos duplos ou mistos, foi feita ainda mais uma correção pelos mesmos, sendo a expressão adaptada:

$$R_{500\text{Hz}} = 13,2 \times \log(m) + 13,8 + \text{Dif} \quad \text{se } m < 200 \text{ Kg/m}^2 \quad [25]$$

$$R_{500\text{Hz}} = 14,3 \times \log(m) + 11 + \text{Dif} \quad \text{se } m \geq 200 \text{ Kg/m}^2 \quad [26]$$

m – massa superficial da solução construtiva, em kg/m²;

Dif – diferença a somar para adaptar a expressão a elementos

duplos

Tabela 4. Características da caixa de ar

A	dB
1 cm de caixa de ar; panos de massas diferentes	2
2 a 4 cm de caixa de ar	3 a 4
5 a 10 cm de caixa de ar	5

Tabela 5. Características do material absorvedor

B	dB
1 cm de material absorvedor	1
2 a 4 cm material absorvedor	2
5 a 10 cm de material absorvedor	3 a 4

Tabela 6. Características dos panos

C	dB
A + B = 1	2
A + B = 5	3
A + B = 7	4

Esta diferença compreende três condicionantes

- Espessura da caixa de ar – A ;
- Espessura do material absorvedor na caixa de ar – B;
- Diferença entre panos – C;

Com base nestes condicionantes, o valor da diferença é obtido através de:

$$\text{Dif} = A + B - C \quad [27]$$

Relativamente ao valor a que equivale cada letra, para o caso da letra A, recorre-se à Tabela 4, para a letra B, a Tabela 5, e para a letra C, a Tabela 6.

LEGISLAÇÃO

A prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora tendo em vista a salvaguarda da saúde e bem-estar da população é uma tarefa fundamental do Estado, estando assim, regulado no ordenamento jurídico português desde 1987 (M. Regional, M. Território, & M. Desenvolvimento, 2007).

Atualmente, no que diz respeito aos requisitos acústicos nas edificações, a legislação em vigor encontra-se no Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) que regula, precisamente, a vertente do conforto acústico no âmbito do regime da edificação. Este encontra-se em articulação com o regime jurídico relativo ao ruído ambiente.

Contudo, o RRAE consiste num complemento ao Regulamento Geral do Ruído (RGR), sendo necessário uma revisão ao mesmo para uma melhor compreensão de termos e artigos presentes no RRAE.

RGR:

O Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro, define uma política de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar da população (artigo 1.º).

Este regulamento aplica-se, portanto, a atividades ruidosas permanentes, temporárias ou outras fontes de ruído que possam causar incomodidade, designadas por:

- a. Construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de edificações;
- b. Obras de construção civil;
- c. Laboração de estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços;
- d. Equipamentos para utilização no exterior;
- e. Infraestruturas de transporte, veículos e tráfegos;
- f. Espetáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados;
- g. Sistemas sonoros de alarme.

De acordo com o artigo 3.º presente no RGR, são definidos dois tipos de zonas e, no artigo 11.º, os respetivos limites de exposição exterior (Tabela 4):

- Zona mista – área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação contenha outros usos além dos referidos na definição de zona sensível.
- Zona sensível – área definida em plano municipal de ordenamento do território para uso habitacional, escolas, hospitais ou similares, espaços de lazer, existentes ou previstos, que podem conter pequenas unidades de comércio e serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno (das 23 às 7 horas);
- Recetor sensível isolado – edifício isolado, de carácter de zona sensível

Tabela 7. Limites de exposição sonora exterior

	Zona Mista	Zona Sensível	Recetor Sensível Isolado
L_{den}	65 dB (A)	55 dB (A)	63 dB (A)
L_n	55 dB (A)	45 dB (A)	53 dB (A)

Sendo L_n o indicador de ruído noturno, que representa o nível sonoro médio de longa duração, definido na Norma NP 1730-1:1996 e, L_{den} como indicador de ruído diurno-entardecer-noturno associado ao incómodo global, de longa duração, que depende dos indicadores L_n (ruído noturno), L_e (ruído do entardecer) e L_d (ruído diurno).

Contudo, tal como afirmado no artigo 11°, se próximo à zona sensível estiver projetada uma grande infraestrutura de transporte aéreo, os limites são iguais aos da zona mista; se, do mesmo modo, estiver projetada uma infraestrutura de transporte não aéreo, os limites são $L_{den} \leq 60$ dB (A) e $L_n \leq 50$ dB (A).

Para além dos valores de exposição anteriormente mencionados, os artigos 13° e 14° consideram ainda as atividades ruidosas permanentes e/ou temporárias.

Caso se encontrem em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos recetores sensíveis isolados, as atividades ruidosas permanentes devem respeitar os valores limites de exposição exterior e o critério de incomodidade, sendo este a diferença entre o valor indicador L_{Ar} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído da(s) atividade(s) em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual. Esta diferença não pode exceder 5 dB (A) no período diurno, 4 dB (A) no período do entardecer e 3 dB (A) no período noturno. Caso a duração acumulada de ocorrência do ruído seja igual ou inferior a 75 % da duração total do período de referência, é adicionado o valor D aos limites anteriores, que pode variar entre 1 e 4

dB (A) (anexo I do RGR).

No caso de atividades ruidosas temporárias (artigo 14º), estas são proibidas na proximidade de edifícios de habitação, aos sábados, domingos, feriados, e nos dias úteis entre as 20 e as 8 horas; na proximidade de escolas, durante o seu horário de funcionamento; e hospitais ou estabelecimentos similares, sendo que, caso aconteça, as atividades poderão ser suspensas por ordem das autoridades policiais (artigo 18º).

PLANEAMENTO:

Segundo o artigo 6º, relativamente ao planeamento municipal de ordenamento do território (PMOT), este deve ser realizado pela câmara municipal, e tem como objetivo assegurar a qualidade do ambiente sonoro, promovendo a distribuição adequada do uso do solo, tendo em consideração tanto as fontes de ruído existentes, quanto as previstas. Neste encontra-se delimitado as zonas mistas e as zonas sensíveis.

Paralelamente a este, são também realizados mapas de ruído (artigo 7º) para apoiar a elaboração, alteração e revisão dos planos diretores municipais (PDM), planos de urbanização (PU) e planos de pormenor (PP). Os mapas são elaborados através de uma recolha de dados acústicos a 4 metros acima do solo para os indicadores L_{den} e L_n . Caso as zonas sensíveis ou mistas com ocupação estejam expostas a ruído ambiente exterior com valores superiores aos mencionados na tabela 4, estes devem ser submetidos a planos municipais de redução de ruído, responsabilidade, também, das câmaras

municipais (artigo 8º).

CONTROLO PRÉVIO DAS OPERAÇÕES URBANÍSTICAS:

De acordo com o nº1 e 2 do artigo 12º, se a operação urbanística estiver sujeita a procedimentos de avaliação de impacte ambiental, o cumprimento dos valores limite de exposição deve ser verificado no âmbito deste mesmo regime jurídico. Sendo que, caso não esteja, a operação urbanística deve ser verificada no âmbito dos procedimentos previstos no regime jurídico de urbanização e da edificação, tendo os documentos de ser apresentados na Portaria n.º 1110/2001, de 19 de setembro.

Conforme o nº3 do artigo 12º, ao projeto de condicionamento acústico é aplicado o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE).

Segundo o nº5 do artigo 12º, a utilização ou alteração da utilização dos edifícios está sujeita a uma verificação do projeto acústico a ser efetuado pela câmara municipal, sendo que, tal como se encontra no 6º e 7º ponto do mesmo artigo, caso estes valores limites não sejam cumpridos, é proibido o licenciamento ou autorização de novos edifícios habitacionais, escolas, hospitais ou similares e espaços de lazer; a não ser que, no caso de novos edifícios habitacionais, este seja abrangido por um plano municipal de redução de ruído, ou os valores não excedam mais de 5 dB (A) e o projeto acústico considere valores de $D_{2m,n,w}$ superiores a 3 dB em relação ao mínimo regulamentar presente no nº1 do artigo 5º do

RRAE.

RRAE:

O Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de junho, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) tal com mencionado no artigo 1o, nos 1 e 2, tem como finalidade contribuir para a melhoria da qualidade acústica dos edifícios, aplicando-se à construção, reconstrução, ampliação ou alteração dos edifícios. Este fornece, assim, os mínimos acústicos possíveis em diferentes usos dos espaços e também nas diferentes envolventes.

Relativamente aos seus usos (n.2 do artigo 1.o), estes dividem-se em sete sectores:

- a. Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- b. Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- c. Edifícios escolares e similares, e de investigação;
- d. Edifícios hospitalares e similares;
- e. Recintos desportivos;
- f. Estações de transporte de passageiros;
- g. Auditórios e salas.

Quanto aos requisitos acústicos, estes diferem em cada um dos sete setores mencionados, sendo considerado uma contraordenação ambiental grave caso sejam construídos edifícios que contravenham os requisitos estabelecidos. (artigo 12º do RRAE). A elaboração e verificação da conformidade com o atual regulamento

deve ser feita por um técnico com qualificação adequada na área da acústica de edifícios reconhecida pela Ordem dos Engenheiros ou associações profissionais, e deve ser efetuada com base em ensaios acústicos (n. 2, 3 e 6 do artigo 3º).

Os requisitos acústicos referentes aos edifícios escolares e similares, e de investigação situam-se no artigo 7º do RRAE (Tabela x).

Os auditórios e salas situam-se no artigo 10º-A do RRAE (Tabela 6). Nos recintos com atividades assentes na oratória, o projeto de condicionamento acústico deve incluir um estudo que assegure uma característica de reverberação adequada no espectro de frequências e uma boa inteligibilidade de palavras nos locais do recinto (n.1 b), artigo 10º-A). Porém, nos auditórios e salas onde as atividades não são assentes na oratória, como auditórios para música ou salas de espetáculo, este estudo deve assegurar a conformação acústica adequada à sua utilização.

Tabela 8. Requisitos acústicos dos edifícios escolares e similares

Ref.	Índice	Local	Valor limite			
n.1 a) i)	$D_{2m,nT,w}$	Zonas mistas: Exterior (emissor)/ Compartimentos Interiores *	≥ 33 dB			
		(+ C ou C_{tr} quando área translúcida superior a 60%)				
n.1 a) ii)		Zonas sensíveis: Exterior (emissor)/ Compartimentos Interiores *	≥ 28 dB			
		(+ C ou C_{tr} quando área translúcida superior a 60%)				
n.1 b)	$D_{nT,w}$	Local de receção	Salas de aula, professores, administrativas	Bibliotecas, gabinetes médicos	Salas polivalentes, berçários	
		Local de emissão	-	≥ 45	≥ 45	≥ 45
		Salas de aula, de professores, administrativas		≥ 55	≥ 58	≥ 50
		Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas		≥ 53	≥ 55	≥ 48
		Berçários		≥ 30	≥ 35	≥ 30
n.1 b) i)	$L'_{nT,w}$	Local emissor:				
		o Corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina			≤ 60 dB	
n.1 b) ii)		o Salas de aulas, berçário ou salas polivalentes			≤ 65 dB	
n.1 c)	T (entre 500, 1000 e 2000 Hz)	Em refeitórios ou recintos públicos de restauração			$T \leq 0,15 \times V^{1/3}$ [s]	
		Escritórios com $V \geq 100m^3$				
n.1 d) i)	$L_{Ar,nT}$	Ruído particular de equipamentos coletivos	Funcionamento intermitente		≤ 42 dB(A)	
n.1 d) ii)			Funcionamento contínuo		≤ 37 dB(A)	
n. 4 e 5 a)	$D_{2m,nT,w}$				+ 3 dB	
n. 4 e 5 b)	$L'_{nT,w}$	<i>In situ</i>			- 3 dB/dB(A)	
c)	$L_{Ar,nT}$					
n. 4 e 5 d)	T				- 25 %	

* Compartimentos recetores: salas de aula, de professores, administrativas, polivalentes e berçários, gabinetes médicos e bibliotecas.

V = volume interior do recinto em causa

Tabela 9. Requisitos acústicos dos auditórios e salas

Ref.	Índice	Local	Valor limite	
n.1 a) i)	T (entre 500, 1000 e 2000 Hz)	Recintos com atividades assentes na oratória (auditórios, salas polivalentes, salas de cinema):	$T \leq 0,12 \times V^{1/3}$ [s]	
n.1 a) ii)		o Se $V < 250 \text{ m}^3$		
n.1 a) iii)		o Se $V \geq 9000 \text{ m}^3$		
n.3	$D_{2m,nT,w} + (C;C_{tr})$	Fachadas de recintos com atividades assentes e não assentes na oratória	De forma a que $L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB (A)}$	
n.4 a)	$D_{nT,w}$	Entre salas de cinema	$\geq 65 \text{ dB}$	
n.4 b)	$D_{nT,oit.63Hz}$		$\geq 45 \text{ dB}$	
n.5 a)	L_{Aeq}	Funcionamento de equipamentos e instalações técnicas:		
n.5 b)		o Cinemas		$\leq 38 \text{ dB (A)}$
		o Restantes Recintos	$\leq 30 \text{ dB (A)}$	
n.8 e 9	$D_{2m,nT,w}$ $D_{nT,w}$	<i>In situ</i>	$+ 3 \text{ dB}$	
n.8 e 9	$D_{nT,oit.63Hz}$		$+ 5 \text{ dB}$	
n.8 e 9	L_{Aeq}		$- 3 \text{ dB (A)}$	
n.8 e 9 a) i)	T	<i>In situ:</i>		
n.8 e 9 a) ii)		o Se $V < 250 \text{ m}^3$		$- 25\%$
n.8 e 9 a) iii)		o Se $V \leq 250 \leq V < 9000 \text{ m}^3$		$- 35\%$
		o Se $V \geq 9000 \text{ m}^3$	$- 40\%$	

2. SELEÇÃO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Na primeira parte do documento foi feita uma introdução à acústica, e a sua importância em contexto arquitetónico. É necessário saber, agora, quais são os critérios necessários para o processo de escolha da solução construtiva a ser utilizada.

A fase da escolha da solução construtiva deve ser feita segundo um objetivo: encontrar a solução que melhor responda às necessidades do projeto. Esta, sendo um problema na base da arquitetura, por vezes torna-se numa questão bastante complexa quando existem diversos critérios a considerar, dado que cada ambiente requer as suas próprias características.

Relativamente aos sistemas construtivos, os arquitetos tendem a não variar muito nas suas escolhas, pois a experiência leva-os a ter uma base segura de soluções construtivas ótimas a fim de evitar a ocorrência de problemas, tanto na fase de construção, quanto na fase de utilização do edifício. Isto acaba por levar à predominância dos materiais tradicionais na arquitetura.

Contudo, ao longo dos anos, tem-se verificado um desenvolvimento tecnológico significativo na área dos materiais de construção, originando cada vez mais soluções construtivas inovadoras, principalmente ligadas à sustentabilidade, o grande tema do século XXI. Desta forma, é necessário pô-las em prática e interligá-las com as diversas problemáticas de arquitetura, como é o caso da térmica e da acústica, criando assim um am-

biente com um conforto ideal.

Deste modo, este tema apresenta o processo de seleção das soluções construtivas. É explicado também o método de análise utilizado (um método de análise multicritério de apoio à decisão, MACBETH) e, em complemento a este, é apresentado o software de apoio ao modelo, o M-MACBETH, bem como os critérios e diferentes cenários tidos em consideração.

ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

A análise multicritério de apoio à decisão – *Multiple-criteria decision aid (MCDA)* – é, tal como o nome indica, uma metodologia de apoio caso seja necessário efetuar uma decisão de um problema, no qual competem critérios, objetivos e pontos de vista em conflito, dificultando assim, ao decisor, o processo de seleção de uma opção mais adequada (Fei, Giovannoni, Mocenni, Sparacino, & Roma, n.d.).

“Perhaps the strongest support for the use of multi-objective methods comes from reality: Real-world problems are multi-objective”
Jared L. Cohon, 1978

INÍCIO

Este método surgiu em meados dos anos '60 enquanto instrumento de apoio à decisão. As suas bases surgem da teoria subjetiva da probabilidade esperada de Ramsey e De Finetti, no início da década de 1930; do teorema da utilidade, por Von Neumann e Morgenstern, em 1944; e dos trabalhos iniciais sobre os contornos da indiferença, por Edgeworth, em 1980. Também o trabalho de Howard Raiffa, Robert Schlaifer e Ron Howard, em 1950, por volta dos mesmos tópicos, foi bastante importante para o desenvolvimento dos atuais princípios.

Inicialmente, o desenvolvimento da programação matemática múltipla objetiva era bastante independente da análise de decisão/teoria da utilidade, sendo

que, diversas vezes, o fator determinante e limitativo entre estes, seria que a análise de decisão abordava problemas relativos à incerteza. A programação matemática foi impulsionada pela programação linear e a programação de objetivos e foi desenvolvida maioritariamente durante a década de 1970 (Figueira, Greco, & Ehrgott, 2005).

OBJETIVOS

*“qu'on ne peut pas conclure, précipitamment, que l'aide multicritère à la décision est destinée à supplanter définitivement les approches monocritères. Tout simplement, elle constitue une autre façon de faire de l'aide à la décision qui, si elle semble échapper à certaines difficultés rencontrées avec une approche monocritère, soulève également des problèmes et des questions(...).”*¹
Bana e Costa, 1992

¹ *“não podemos concluir, precipitadamente, que a análise multicritério de apoio à decisão destina-se a suplantando abordagens de critério único. Simplesmente, constitui uma outra maneira de dar apoio à decisão que, embora pareça esquivar de certas dificuldades encontradas numa abordagem de critério único, também levanta problemas e questões (...).”*
Bana e Costa, C. A. (1992). *Structuration, Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Décision*. Universidade Técnica de Lisboa.

O método baseia-se, portanto, na descrição de um determinado problema, levando em consideração todos os fatores de decisão pertinentes com base nas preferências dos decisores. Esta é uma abordagem conveniente em diversos domínios, como em empresas e organizações, dada a alta complexidade que caracteriza as decisões que estas necessitam de tomar, e os múltiplos pontos de vista envolvidos (Doumpos & Zopounidis, 2014).

Ou seja, o objetivo desta análise é auxiliar o(s) decisor(es) na presença de problemas complexos e mal estruturados, onde múltiplos critérios estão envolvidos, dificultando uma opinião unânime, pois, diferentes objetivos levam a diferentes soluções. No entanto, uma técnica analítica que visa organizar e sintetizar a informação da questão, bem como sugerir determinada solução dependendo dos critérios em consideração, acaba por facilitar bastante o processo de decisão (Doumpos & Zopounidis, 2014).

A grande maioria destes métodos de apoio à decisão tendem a estruturar o processo em três fases principais (Merad, Dechy, Serir, Grabisch, & Marcel, 2012):

- Estruturação do problema – esta fase consiste na identificação de um problema e do processo de decisão. É necessário definir as soluções alternativas, os seus sistemas de valores, os diferentes critérios de avaliação e o quanto estes afetam a decisão. Esta é a fase mais complexa e a que mais condiciona as conclusões e recomendações que resultam da aplicação do método.

- Fase operacional – Escolha do procedimento de agregação da informação disponível que compreende os requerimentos do problema;

- Recomendações – a fase final onde há a sugestão de uma solução dependendo dos critérios utilizados, bem como a apresentação de um ranking das alternativas, da melhor para a pior.

Quanto à abordagem, o MCDA compreende um vasto conjunto de métodos para abordar diferentes tipos de problemas, sendo que estas podem diferir no tipo dos modelos, no processo de desenvolvimento e no seu objetivo de aplicação (Doumpos & Zopounidis, 2014).

Com base nas características mencionadas, os quatro principais processos podem ser distinguidos em:

- Otimização multiobjetivo – para problemas com múltiplos objetivos em conflito, assumindo que os objetivos não se encontram otimizados simultaneamente numa única solução. Esta otimização é feita com base na dominância, ou seja, ‘uma solução x domina outra solução y’ se o seu valor for maior;

- Teoria da utilidade/multiatributo – fornece uma abordagem regulamentar de modo a caracterizar e analisar uma decisão coerente. Este está ligado principalmente à forma segundo a qual os decisores fazem as escolhas entre o conjunto de alternativas, mas influenciam também os modelos de otimização multiobjetiva.

- Relações de juízo – estas podem ser atribuídas à teoria das escolhas sociais. Em oposição aos modelos de otimização multiobjetivo, expressam uma relação entre as alternativas das quais valida afirmações como ‘uma solução x é tão adequada qu anto (ou mais adequada do que) outra solução y ’. A análise dessas comparações leva aos resultados de avaliação final, ou seja, escolha das melhores maneiras de agir ou uma classificação das alternativas do melhor para o pior;

- Análise de desagregação de preferências – os modelos de decisão MCDA baseiam-se em procedimentos diretos e indiretos. Nos diretos, o decisor tem de especificar os critérios de compensação interativos e estruturados no modelo. Este processo é exequível quando envolve estratégias de carácter não-competitivo. Noutros casos, onde a decisão em tempo real é exigida, os métodos de desagregação de preferências indiretas são mais eficazes. Estes utilizam a técnica de regressão para concluir um modelo a partir de um conjunto de exemplos de decisão sobre alternativas de referência tidas no passado, de modo a que o modelo fique tão consistente quanto possível com a avaliação real das alternativas pelo decisor. Dado este conjunto de decisões de referência, é fornecido ao decisor uma base inicial sobre a qual este elabora os detalhes específicos do seu sistema preferencial. O conjunto de referência é a entrada principal neste processo; pode consistir em decisões passadas, um subconjunto das alternativas em consideração ou um conjunto de alternativas fictícias que podem ser facilmente julgadas pelo decisor. Dependendo da decisão problemática, a avaliação das alternativas de referência pode ser expressa definindo uma estrutura de ordem

(total, fraca, parcial, etc.) ou em classes apropriadas.

MACBETH

MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique – é um método de análise comparativa que surgiu por volta dos anos 90 (Rietkötter, Franziska, & Rietkötter, 2014). Este software de análise multicritério de apoio à decisão, tem como objetivo medir a atratividade das opções em análise através de uma técnica de avaliação baseada nos critérios selecionados pelo decisor. A principal distinção entre este e os outros métodos de apoio à decisão, é que o MACBETH utiliza julgamentos qualitativos de diferenças de atratividade para gerar as classificações das opções em análise (Bana e Costa, de Corte, & Vansnick, 2011).

O método MACBETH baseia-se na teoria da utilidade, ou seja, atribui funções mais ou menos úteis através de relações de preferência e aderência definidos pelo decisor (Rietkötter et al., 2014). De modo a facilitar a comparação das opções, MACBETH avalia os critérios em pares, sendo possível atribuir-lhes uma diferença de atratividade que pode diferir entre:

não há diferença / indiferença

muito fraca

fraca

moderada

forte

muito forte

extrema

O desacordo entre duas ou mais categorias consecutivas, exceto a indiferença, também é permitido.

Caso o julgamento não seja aprovado, devido à inconsistência do mesmo, são oferecidas sugestões para as resolver.

Em seguida, quando o julgamento já se encontra aprovado, obtém-se as pontuações para as opções numa escala numérica MACBETH primária, onde o decisor pode comparar os intervalos entre as pontuações e ajustá-las entre o intervalo compatível com o julgamento, se pretender. Caso necessário um ajuste adicional, poderá, também, rever os julgamentos anteriormente efetuados. O objetivo deste processo é quantificar a atratividade relativa das opções numa escala de intervalo (veja a seção intitulada).

No contexto da análise de diversos critérios, a escala de intervalo de critério é importante pois permite que se faça uma média ponderada da pontuação de cada opção, em cada critério, sendo possível fazer, também, uma pontuação global, onde se mede a atratividade relativa da opção em todos os critérios.

MACBETH usa programação matemática para testar a consistência, encontrar sugestões para resolver inconsistências caso surjam, obter a escala MACBETH básica para um conjunto de julgamentos consistentes e encontrar o intervalo dentro do qual cada pontuação proposta pode ser ajustada.

CRITÉRIOS

Este estudo de soluções construtivas teve em conta os três seguintes critérios: o impacte ambiental, desempenho funcional e o desempenho acústico.

Presentemente existe uma crescente preocupação com o futuro do planeta Terra, onde há cada vez mais uma consciencialização da responsabilidade que a arquitetura assume na proteção do meio ambiente. Por este motivo, há que tentar minimizar o prejuízo, tendo atenção às escolhas dos materiais que compõem o edifício.

Os parâmetros que expressam, neste trabalho, o impacte ambiental são, o carbono incorporado e a energia incorporada. Todavia, através de uma comparação entre valores, foi possível observar que estes dois parâmetros costumam andar em paralelo, ou seja, quanto mais energia é utilizada para a produção de um material, maior são as emissões de carbono, tendo em consideração que estes são produzidos através de energia de fontes fósseis, não renováveis. Com isto, foi decidido que para esta análise apenas se faria recursos ao carbono incorporado na medida em que a causa direta do impacte ambiental é a emissão de gases com efeito de estufa.

I. Carbono incorporado por unidade de área de elemento construtivo – O carbono incorporado superficial (ECs) refere-se à quantidade de gases com efeito de estufa (dióxido de carbono, metano e óxidos nitrosos) emitidos durante a produção e utilização de uma solução construtiva. Neste trabalho, foi considera-

do um limite de fronteira de sistema (cradle-to-grave), correspondendo ao impacte associado à extração das matérias-primas e à sua transformação para a obtenção do produto final pronto a ser utilizado na construção. Este indicador é expresso em equivalente de dióxido de carbono CO₂e.

$$EC = [\text{kgCO}_2\text{e/m}^2]$$

Relativamente aos critérios para representar o desempenho energético, foram escolhidos a transmissão de calor e a inércia térmica. Estes indicam o conforto térmico no edifício, minimizando a perda de energia e mudanças excessivas de temperatura.

II. Transmissão de calor – a transmissão de calor é representada pelo coeficiente de transmissão térmica (U) do sistema construtivo, que se refere à sua qualidade de transmitir calor, num sentido unidirecional da parede.

$$U = [\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}]$$

III. Inércia térmica – A inércia térmica é expressa através da massa térmica superficial útil (M_{tsu}), que se refere à capacidade de um material absorver calor e libertá-lo mais tarde. A inércia térmica proporciona um atraso no aumento da temperatura interior de um dado espaço através da acumulação de energia nos sistemas construtivos.

$$M_{tsu} = [\text{J/m}^2\cdot^\circ\text{C}]$$

Por fim, tendo em consideração que, para o conforto interior não é apenas importante o conforto térmico, como também o conforto acústico, este tem vindo cada vez mais a ser considerado como um critério essencial do espaço interior. Como parte desta análise, considerando que é feito o cálculo de soluções construtivas entre dois ambientes interiores, é utilizado o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado ($D_{nT,w}$).

IV. Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado – Este índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, normalizado ($D_{nT,w}$) corresponde à diferença entre o nível médio de pressão sonora do local de emissão e do local de receção. Este valor é medido através da expressão [25].

$$D_{nT,w} = [\text{dB (A)}]$$

ESCOLHA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS E CENÁRIOS

Para a consideração dos resultados, foram feitos três estudos com determinada seleção de paredes, porém, com diferentes volumes do espaço recetor do ruído, provenientes de Projeto Final de Arquitetura. Além disso, foram tidos em consideração os diferentes limites do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Estes três casos foram escolhidos devido aos limites representados no regulamento, onde se buscaram os limites mais exigentes de cumprir de modo a perceber o que seria, então, mais determinante neste estudo.

O trabalho incide então sobre a parede divisória entre a área administrativa e o espaço de biblioteca/leitura, a parede entre a sala polivalente e o espaço de biblioteca/leitura, e ainda o seu inverso, do espaço biblioteca/leitura para a sala polivalente.

Além disso, estes estudos, foram divididos em quatro diferentes cenários onde são dadas diferentes importâncias aos critérios considerados – o impacto ambiental, energético e acústica, de modo a descobrir a solução mais correta em cada caso.

As opções das soluções construtivas analisadas neste trabalho foram consideradas a partir de uma dissertação de mestrado anteriormente apresentada no ISCTE-IUL, por Davide Trevisan, onde o objetivo geral foi de contribuir para uma seleção mais informada e integrada de soluções construtivas de fachada e criando um

apoio na escolha do sistema construtivo que melhor responda às necessidades do projeto (Trevisan, 2016). Esta seleção feita por Davide Trevisan foi selecionada a partir de uma dissertação, também apresentada no ISCTE-IUL, por Sofia Veludo, onde eram analisadas 357 soluções construtivas (Veludo, 2015).

A partir da lista de soluções construtivas da dissertação de Davide Trevisan, foram selecionadas certas soluções construtivas e adicionadas outras (tabela 12) para que houvesse uma maior diversidade de soluções construtivas e ainda uma base mais abrangente de comparação e análise dos resultados. Não foram consideradas todas as soluções de Davide Trevisan pois pouca alteração havia no parâmetro acústico.

Os valores utilizados para as características dos materiais foram conseguidos a partir de relatórios técnicos e científicos de referência, sendo estes a publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios” (Pina dos Santos, 2006), o livro de Javier Neila Gonzalez (Gonzalez, 2004) e o inventário de energia e carbono produzido na Universidade de Bath (Hammond, G., & Jones, C., 2008).

A seleção de 22 soluções construtivas (Tabela 10) analisadas pode ser dividida em paredes simples e paredes duplas.

Tabela 10. Enumeração e descrição das soluções construtivas

Nº	PAREDES PESADAS	DESCRIÇÃO	Funcional		Ambiental			Acústica		
			U	m _{tsu}	EEs	ECs	Ms	D _{nT,w} (1)+I	D _{nT,w} (2)+I	D _{nT,w} (3)+I
1	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+BA20	0.62	447	1171	113	486	61	61	59
2	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+BA30	0.60	660	1737	168	721	64	63	61
3	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+Tij.11m	0.61	160	665	53	225	58	57	55
4	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0.52	123	428	37	170	56	56	54
5	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0.41	152	597	51	227	58	57	55
6	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+Tij.20+Reb.	0.49	141	542	47	208	57	57	55
7	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0.39	171	700	59	261	58	58	56
8	Simplex (Isol. exterior)	Reb.+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0.34	191	829	69	304	59	59	57
9	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.11m+Reb.	0.45	216	1087	93	408	65	65	63
10	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.T14+Reb.	0.35	143	853	74	330	64	63	61
11	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.15+Reb.	0.40	140	808	70	315	64	63	61
12	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.T19+Reb.	0.33	169	977	84	371	65	64	62
13	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.20+Reb.	0.38	164	922	79	353	64	64	62
14	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.T24+Reb.	0.32	189	1079	92	405	65	65	63
15	Duplas (Tijolo + Tijolo)	Reb.+Tij.15+Cx.ar+Agl.negro6+Tij.T29+Reb.	0.29	211	1208	102	448	66	65	63
16	Duplas (Tijolo + Betão armado)	Reb.+Tij.11m+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0.52	469	1819	166	714	69	68	66
17	Duplas (Tijolo + Betão armado)	Reb.+Tij.11m+Cx.ar5+Agl.negro6+BA30	0.51	686	2385	221	949	70	70	68
18	Duplas (Tijolo + Betão armado)	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+BA20	0.46	475	1540	144	621	68	67	65
19	Duplas (Tijolo + Betão armado)	Reb.+Tij.15+Cx.ar5+Agl.negro6+BA30	0.45	696	2106	199	856	70	69	67
20	Duplas (Blocos betão c/ areia + Blocos Betão c/ areia)	Reb.+ BlocoBet. areia10+ Cx.ar5+Agl.negro6+BlocoBet.10+reb.	0.55	244	279	34	481	66	66	64
21	Duplas (Blocos betão + Blocos Betão)	Reb.+BlocoBet.15+Cx.ar5+Agl.negro6+BlocoBet.15+reb.	0.18	391	576	70	743	69	68	66
22	Duplas (Blocos betão c/ areia + Blocos Betão c/ areia)	Reb.+BlocoBet. areia15+Cx.ar5+Agl.negro6+BlocoBet.15+reb.	0.54	342	355	42	677	68	68	66

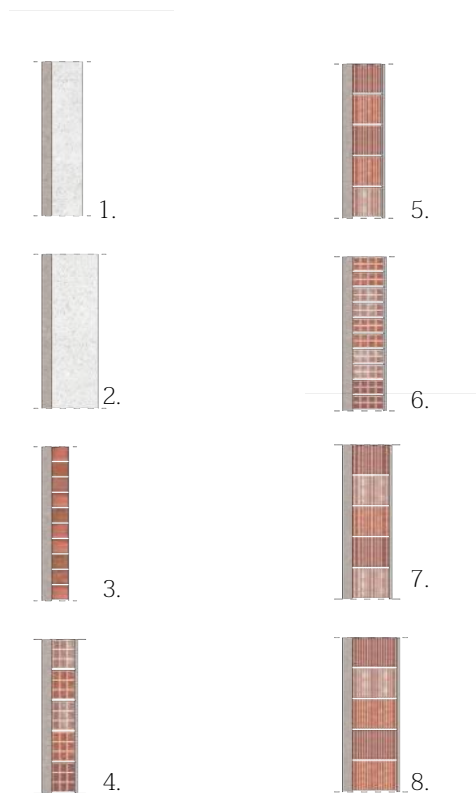


Figura 16. Seleção de paredes simples

As paredes simples (Figura 16) são compostas por um pano em betão armado (n.1 com 20 ou n.2 com 30 cm), em tijolo maciço (n.3 com 11 cm), em tijolo com perfuração horizontal (n.4 com 15cm ou n.6 com 20 cm) ou em tijolo com perfuração vertical (n.5 com 19 cm, n.7 com 24 cm ou n.8 com 29 cm). Estas possuem um material isolante, sendo este aglomerado negro de cortiça com espessura de 6 cm, e ainda reboco como material de revestimento nas duas faces da parede, sendo omitido da parede quando se utiliza betão, para que este se encontre à vista.

Sabendo que, na prática, há materiais que funcionam melhor em termos acústicos, como é exemplo da lã de rocha, nesta análise teórica isto seria pouco relevante, pois para o cálculo acústico apenas são consideradas a espessura e a densidade do material; a sua propriedade acústica é considerada de forma indireta pela soma de um acréscimo ao índice de redução sonora (R_w), que não depende do tipo de material.

Relativamente às paredes duplas (Figura 17), estas são constituídas por dois panos de alvenaria, por um pano de alvenaria e outro de betão armado, ou por dois panos de blocos de betão. Entres ambos os panos existe um intervalo de 11 cm, onde se encontra uma camada de material isolante, de novo com 6 cm de aglomerado negro de cortiça, e os outros 5 cm funcionam como caixa de ar, de modo a obter um contributo adicional para o desempenho acústico. É ainda utilizado o reboco como revestimento.

Quanto aos panos da parede, estes são constituídos por diferentes combinações de tijolo furado, tijolo maciço, betão armado ou blocos de betão preenchidos ou não com areia, tal como demonstrado na Figura 17.

No caso dos dois panos constituídos por alvenaria de tijolo, estes podem conter um pano de tijolo de furação horizontal de 15, e outro pano de tijolo maciço (n.9), tijolo de furação vertical de 14 (n.10), 19 (n.12), 24 (n.14) ou 29 cm (n.15), ou tijolo de furação horizontal de 15 (n.11) ou 20 cm (n.13). É considerado também paredes duplas constituídas por um pano de tijolo maciço de 11 cm ou de tijolo de furação horizontal de 15 cm com outro pano de betão armado de 20 (n.16 e n.18, respetivamente) ou 30 cm (n.17 e n.19, respetivamente).

Quanto aos dois panos de blocos de betão, estes podem ser dois panos de 10 cm preenchidos com areia (n.20) ou dois panos de 15 cm, preenchidos (n.22) ou não com areia (n.21).

Com isto, sabe-se que quanto mais massa e densidade, melhor será para a acústica, pois há uma maior dissipação do som, combinado com perda de energia. Devido a isto, por vezes é considerado reboco dos dois lados do tijolo, por exemplo. É também sugerido que não se deixe o tijolo à vista, isto pois permite que haja mais falhas nas ligações do material, deixando mais margem para existir áreas de transmissão direta do som. Esta questão pode ser conferida na tabela 10.

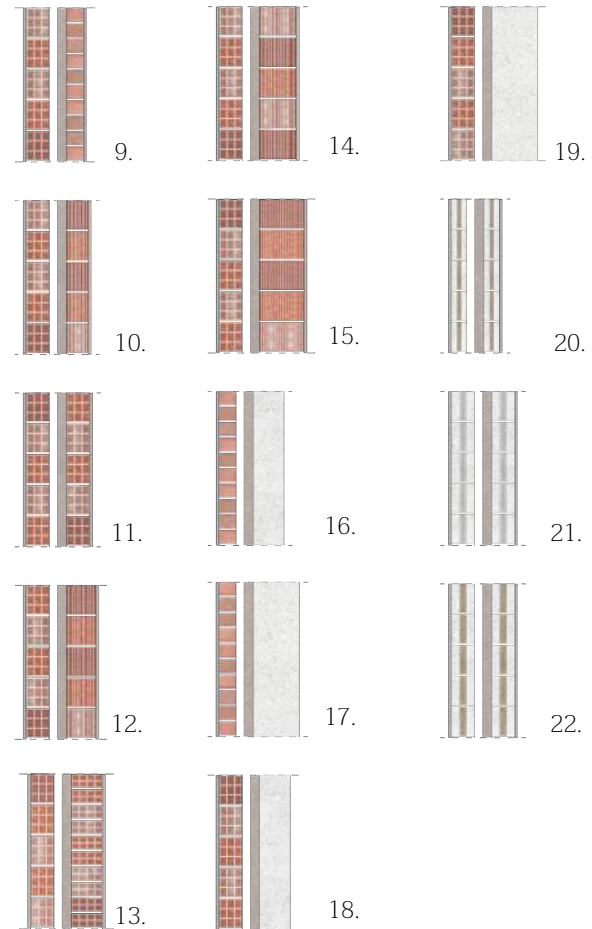


Figura 17. Seleção de paredes duplas

CENÁRIOS

Relativamente aos cenários para aplicação do modelo de análise multicritério, para este estudo foram criados quatro cenários de projeto (1.1, 1.2, 1.3, 2.2) onde cada um destes pretende demonstrar o comportamento das paredes face às diferentes ponderações dadas aos critérios considerados, ou seja, qual seria a parede mais indicada dependendo da importância dada a cada critério, sendo que este deve ser determinado dependendo do projeto em si.

No critério acústica, o trabalho divide-se em dois tipos de análise. Uma primeira (cenários 1.1, 1.2, 1.3) onde o requisito regulamentar (RRAE) é considerado o objetivo mínimo a atingir assumindo-se como referência superior para a pontuação das opções neste critério. A segunda análise (cenário 2.2) faz no critério acústico uma análise relativa no intervalo dos valores de desempenho do conjunto das opções em análise, estabelecendo a referência superior no valor máximo da amostra e não no valor regulamentar.

No cenário 1.1 é dada a mesma importância aos quatro critérios em julgamento, fazendo deste um cenário base. Já o cenário 1.2 atribui uma grande importância ao desempenho acústico, presente no programa de projeto selecionado. Desta maneira, o cenário 2.2 contém as mesmas ponderações presentes no 1.2, porém, tem como fim entender as alterações que a ponderação acústica gera. Por fim, o cenário 1.3 provém de uma preocupação ecológica, sendo dada igual importância aos critérios acústico e ambiental.

Além disso, para calcular o índice de redução sonora, é necessário o volume do campo recetor e a área de parede incidente. Para isto, este estudo é realizado considerando volumes e paredes presentes em projeto final de arquitetura, tendo então sido elaborados três diferentes estudos. Como dito anteriormente, estas paredes foram escolhidas com o critério de serem as duas paredes divisórias mais restritivas em termos regulamentares, num espaço de biblioteca, sendo estas, portanto, a parede que divide o espaço administrativo do espaço de leitura e a parede entre a sala polivalente e, também, o espaço de leitura. Deste modo, os três espaços escolhidos como campo recetor são o espaço de leitura, recebendo som do espaço administrativo, o espaço de leitura recebendo som da sala polivalente e o espaço da sala polivalente, recebendo som do espaço de leitura. Como em projeto (Figura 18) a área administrativa e a sala polivalente têm em contacto o mesmo volume de espaço de leitura, este tem o mesmo volume, alterando apenas a superfície em estudo. O mesmo sucede entre a sala polivalente e o espaço de leitura, onde o mesmo troço de parede divide ambos os espaços, porém a sala polivalente contém um volume maior do que espaço de leitura considerado.

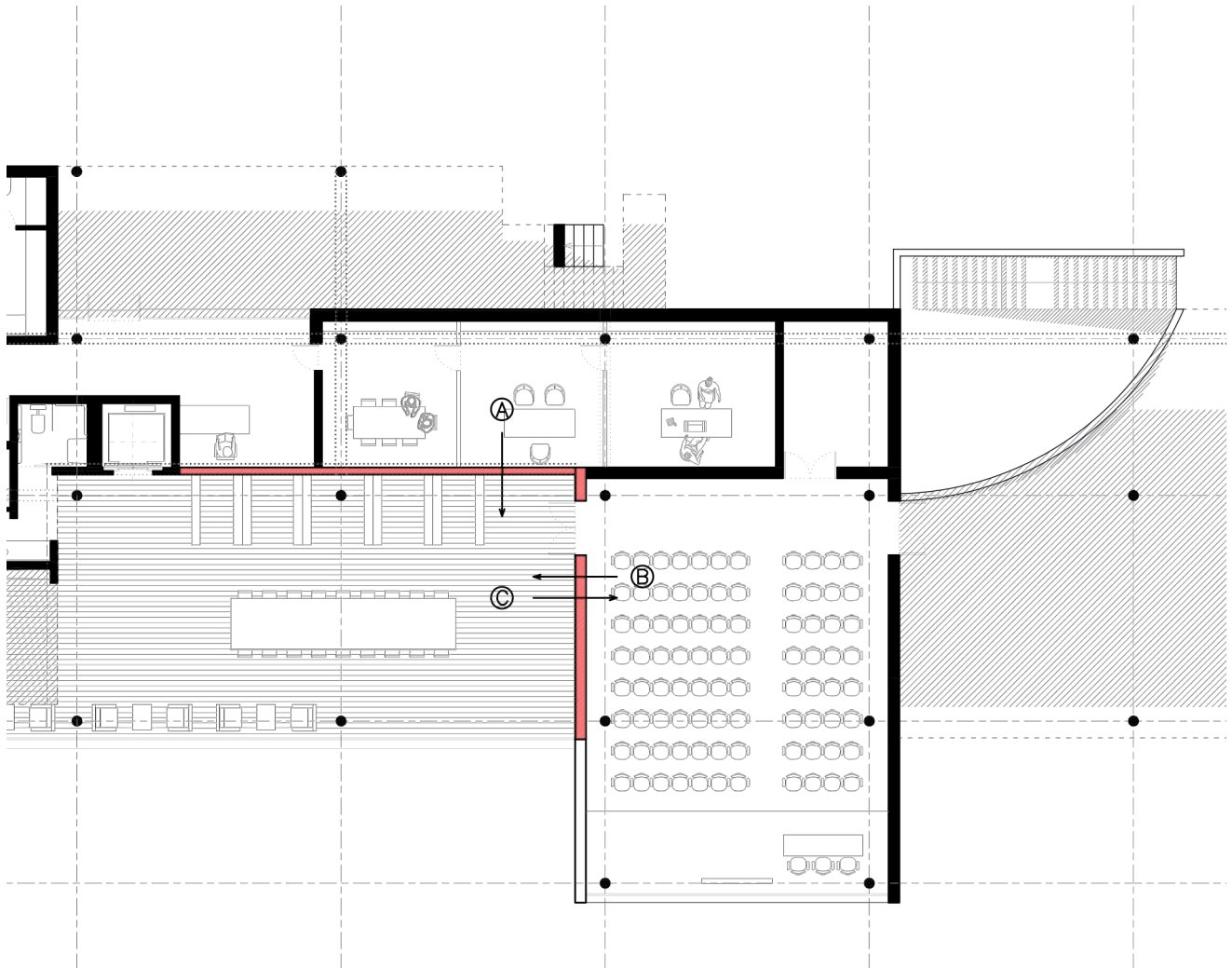


Figura 18. Paredes em análise

CENÁRIOS NO MODELO MACBETH

As considerações dos cenários anteriormente definidas servem para a construção de diferentes modelos de análise multicritério MACBETH. Para este estudo são construídos doze modelos, onde os quatro cenários determinados são ensaiados para cada um dos espaços recetores mencionados (Tabela 8). Para isto, cada critério contém, ainda, diferentes níveis ao qual podem ser atribuídas diferenças de atratividade.

Relativamente aos níveis utilizados nos critérios, aquele que mais complexidade contém é o critério do desempenho acústico, onde este é dividido em duas categorias. A primeira, onde o nível dos cenários 1.1, 1.2 e 1.3 variam entre negativo ou acima do valor de referência superior (o valor regulamentar). Desta maneira, não existem valores entre a referência inferior e a referência superior, ou seja, se a parede cumprir o requisito regulamentar, este obtém uma pontuação maior ou igual a 100% relativamente à acústica. Por outro lado, se o valor não cumprir o requisito, é considerado como negativo, tendo um valor abaixo dos 0% a nível da acústica. Isto é possível ser observado na Figura 19.

Tabela 11. Medidas dos espaços analisados

	Local Recetor A ADM → BIBLIO	Local Recetor B POLIV → BIBLIO	Local Recetor C BIBLIO → POLIV
Comprimento	11,45 m	11,45 m	11,92 m
Largura	7,60 m	7,60 m	8,60 m
Altura	6,00 m	6,00 m	6,00 m
Superfície	34,4 m ² (11,45 x 3)	44,2 m ² (7,37 x 6)	44,2 m ² (7,37 x 6)
Volume	522 m ³	522 m ³	608,9 m ³

Relativamente aos níveis utilizados nos critérios, aquele que mais complexidade contém é o critério do desempenho acústico, onde este é dividido em duas categorias. A primeira, onde o nível dos cenários 1.1, 1.2 e 1.3 variam entre negativo ou acima do valor de referência superior (o valor regulamentar). Desta maneira, não existem valores entre a referência inferior e a referência superior, ou seja, se a parede cumprir o requisito regu-

lamentar, este obtém uma pontuação maior ou igual a 100% relativamente à acústica. Por outro lado, se o valor não cumprir o requisito, é considerado como negativo, tendo um valor abaixo dos 0% a nível da acústica. Isto é possível ser observado na Figura 19.

A segunda categoria refere-se ao cenário 2.2, no qual a referência inferior é idêntica aos cenários anteriores (um valor imediatamente abaixo do valor regulamentar), e a referência superior corresponde ao valor máximo obtido pela amostra de estudo, como é observado na Figura 20. Além disto, é considerado como julgamento que uma parede que se encontre no limite já é considerada como apropriada, dando assim um maior benefício aos valores acima do limite, dando às paredes que contêm o valor acima de 45 dB (A) uma vantagem de estar acima de 66%.

Quanto aos valores regulamentares que constam no RRAE, para paredes que fazem a divisão entre o espaço administrativo e o espaço de leitura, o limite mínimo é de 45 dB (A), e o valor para paredes entre o espaço polivalente e o espaço de leitura, o limite mínimo é de 58 dB (A) (artigo 7º RRAE).

Para o impacto ambiental, foi utilizado o valor de carbono incorporado, sendo que, logicamente, quando menor quantidade de carbono incorporado, melhor para o ambiente. Assim, o menor valor de carbono incorporado da amostra, 40 kgCO₂e/m² é considerado como o mais atrativo, sendo que ao maior valor, 220 kgCO₂e/m², é atribuída a menor atratividade.

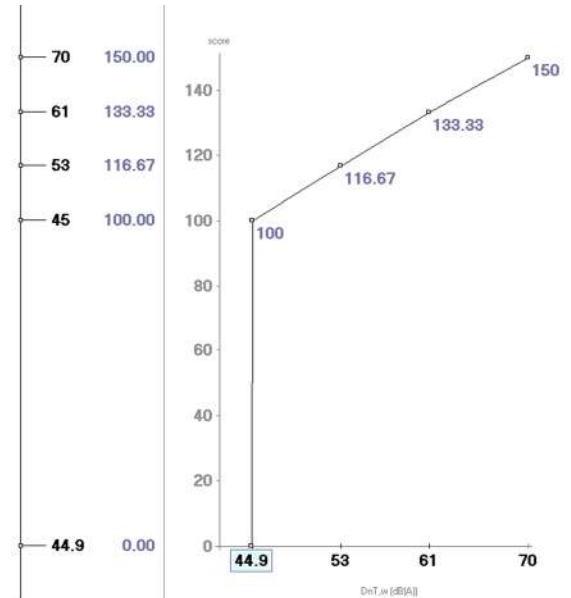


Figura 19. Escala do desempenho acústico, cenário 1.1

Administração - Biblioteca

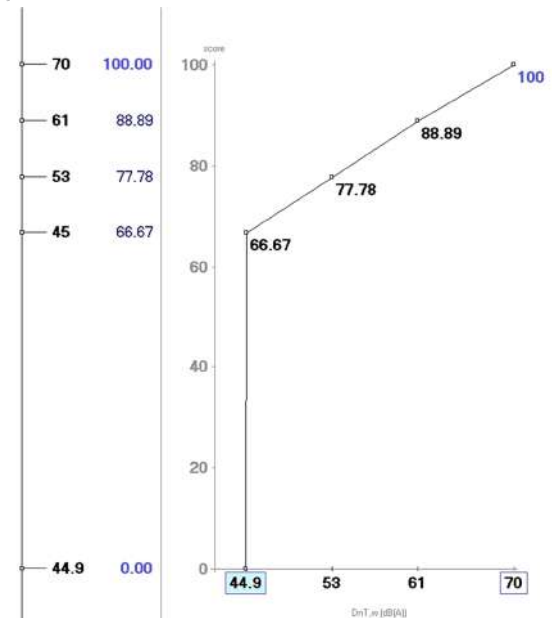


Figura 20. Escala do desempenho acústico, cenário 2.2

Administração - Biblioteca

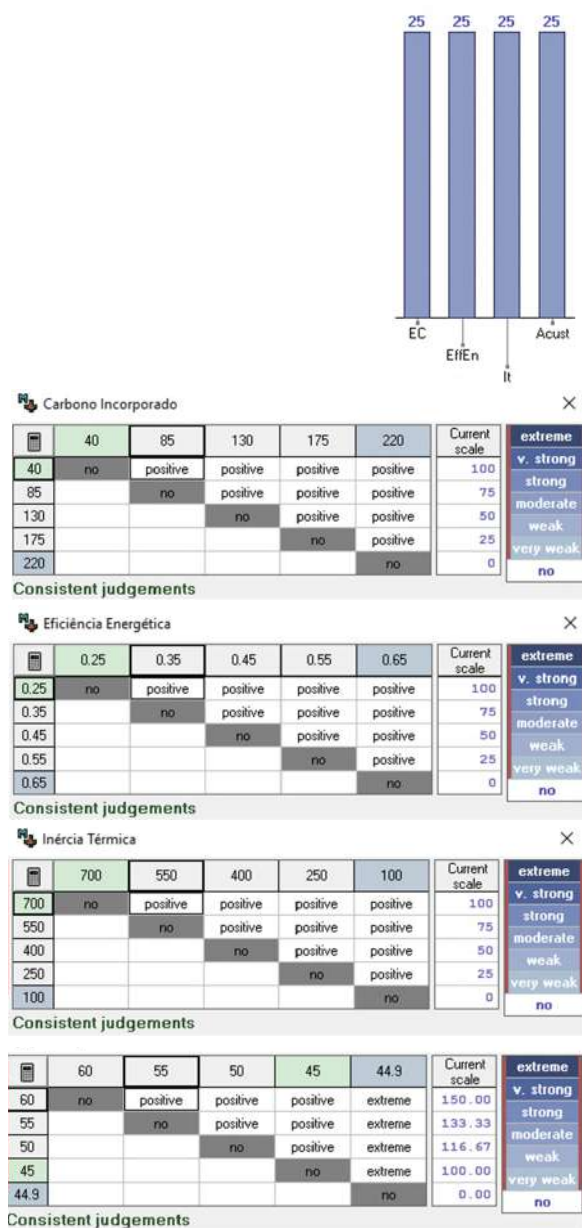


Figura 21. Julgamentos do cenário 1.1, exemplo de Administração - Biblioteca

Em relação à eficiência energética, no caso da parede em contacto com a sala polivalente, quer-se o coeficiente de transmissão térmica tanto mais baixo quanto possível. Isto, porque, a sala de leitura será climatizada durante o tempo de abertura da biblioteca; contudo, a sala polivalente apenas será climatizada durante o seu tempo de utilização e, deste modo, o coeficiente de transmissão térmica baixo permite que haja menos perdas de calor da sala de leitura para a sala polivalente.

Segundo isto, nas paredes analisadas, o valor mais baixo e de $0,25 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, pelo que este é considerado como valor de referência superior. Por outro lado, o valor mais elevado, de $0,65 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, é considerado como valor de referência inferior. No caso da inércia térmica, ao valor de $700 \text{ J/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ é atribuída a referência superior, enquanto que a referência inferior corresponde ao valor de $100 \text{ J/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Como se trata de um ambiente interior, a inércia exerce pouca função, visto que o ambiente interior será climatizado, estando à mesma temperatura. Quanto aos valores de ponderação dos critérios, estes mudam em cada um deles:

No cenário 1.1 é dada igual ponderação (25%) aos quatro diferentes critérios, carbono incorporado, eficiência energética, inércia térmica e acústica, não atribuindo prioridade a nenhum. Os níveis de cada um são dados igualmente ao referido anteriormente (Figura 21).

No que se refere aos cenários 1.2 e 1.3 (Figura 22), nestes são atribuídas diferentes importâncias aos critérios, sendo que no 1.2 existe uma prioridade acústica, dando a este uma ponderação de 62,5% e, no cenário 1.3 existe, além da prioridade acústica, uma preocupação ambiental, pelo que é dado a estes dois critérios a mesma ponderação de 41,67%, deixando os restantes com igual baixa importância.

O cenário 2.2 (Figura 23) contém as mesmas configurações do cenário 1.2 exceto os níveis de atratividade do desempenho acústico. As ponderações também são iguais.

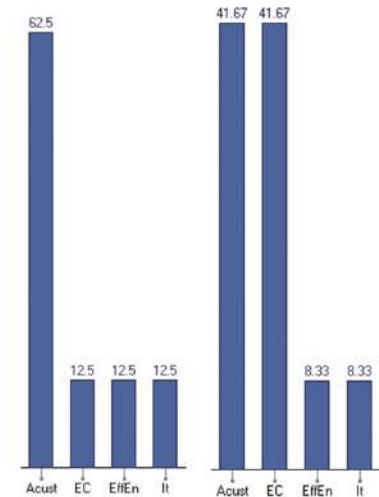


Figura 22. Julgamentos dos cenários 1.2 e 1.3, respetivamente

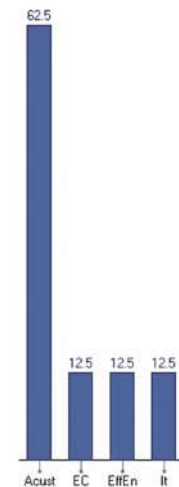
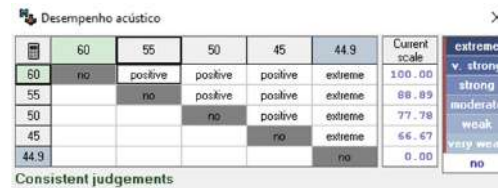
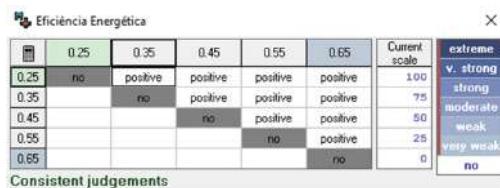
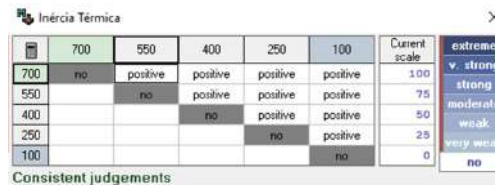
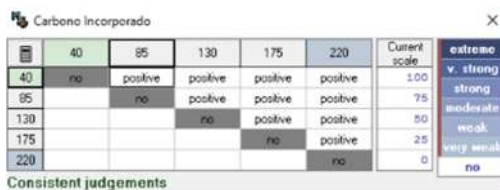


Figura 23. Julgamentos do cenário 2.2, exemplo de

Administração - Biblioteca

3. RESULTADOS

Antes de expor os resultados obtidos através da aplicação do modelo MACBETH, ainda é possível perceber ligeiramente o comportamento acústico a nível da diferença entre os volumes e superfícies dos três casos mencionados, com base nos dados apresentados na Tabela 7, posto isto, achou-se necessário analisar este caso mais aprofundamento, também neste ponto de vista.

Com isto, é feita uma análise com base nos cenários do modelo, onde, em cada um destes, as ponderações dos critérios variam, de modo a confirmar se existe alteração na preferência de soluções construtivas. Posteriormente é feita, então, uma segunda análise, onde se tenta aprofundar, através de segundos resultados, como a área da parede em análise e o volume do local recetor influenciam na preferência das soluções construtivas.

Desta maneira, são apresentadas as classificações das soluções construtivas sugeridas pelo programa em cada cenário, bem como gráficos para auxiliar a compreensão do comportamento global e individual das mesmas.

COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS

Numa primeira observação, como se pode verificar na Tabela 9, a principal condição a verificar-se é que a solução construtiva 21 (dois panos de blocos de betão de 15 cm) é considerada como a preferencial em todos os doze casos.

Seguidamente, e ainda em análise global, é notório uma grande comparência das opções 22, 19, 18, 15 e, ainda, por vezes o 17, podendo considerar estas, em acréscimo da solução 21, como um conjunto de soluções preferenciais, no estudo. Contudo, percebe-se alguma oscilação nas posições desta seleção, sendo que as 19, 18 e 17 não surgem como preferenciais no cenário 1.3, tornando-se das piores opções. A nível dos mate-

riais, é possível deduzir que isto sucede devido às soluções mencionadas conterem como material um pano de betão armado, a que está associado um impacte ambiental significativo. Com isto, é possível compreender que, maioritariamente, as soluções com melhores resultados no desempenho acústico não são muito favorecidas em termos ambientais, devido ao confronto entre massa e impacte ambiental.

No que se refere às paredes simples, estas não predominam na Tabela 10. Apenas no local recetor A, as opções 5 e 8, pois apenas neste conseguem ter um valor mais razoável em termos acústicos, sendo que nos outros casos, estes apresentam valores negativos. Ambas estas paredes são constituídas por panos de tijolo de perfuração vertical, com diferentes espessuras.

Tabela 12. Melhores resultados em cada Cenário/Local Recetor

Paredes	Local Recetor A	Local Recetor B	Local Recetor C
Cenário 1.1	21, 15, 22, 19, 14, 12, 8	21, 22, 15, 19, 14, 12, 18	21, 19, 22, 15, 14, 12, 18
Cenário 1.2	21, 19, 22, 15, 18, 17, 14	21, 19, 22, 17, 18, 15, 14	21, 19, 17, 22, 18, 16, 15
Cenário 2.2	21, 19, 22, 15, 18, 14, 12	21, 19, 22, 17, 15, 18, 14	21, 19, 22, 17, 18, 15, 16
Cenário 1.3	21, 22, 20, 10, 11, 5, 13	21, 22, 20, 13, 12, 14, 15	21, 22, 20, 12, 10, 15, 14

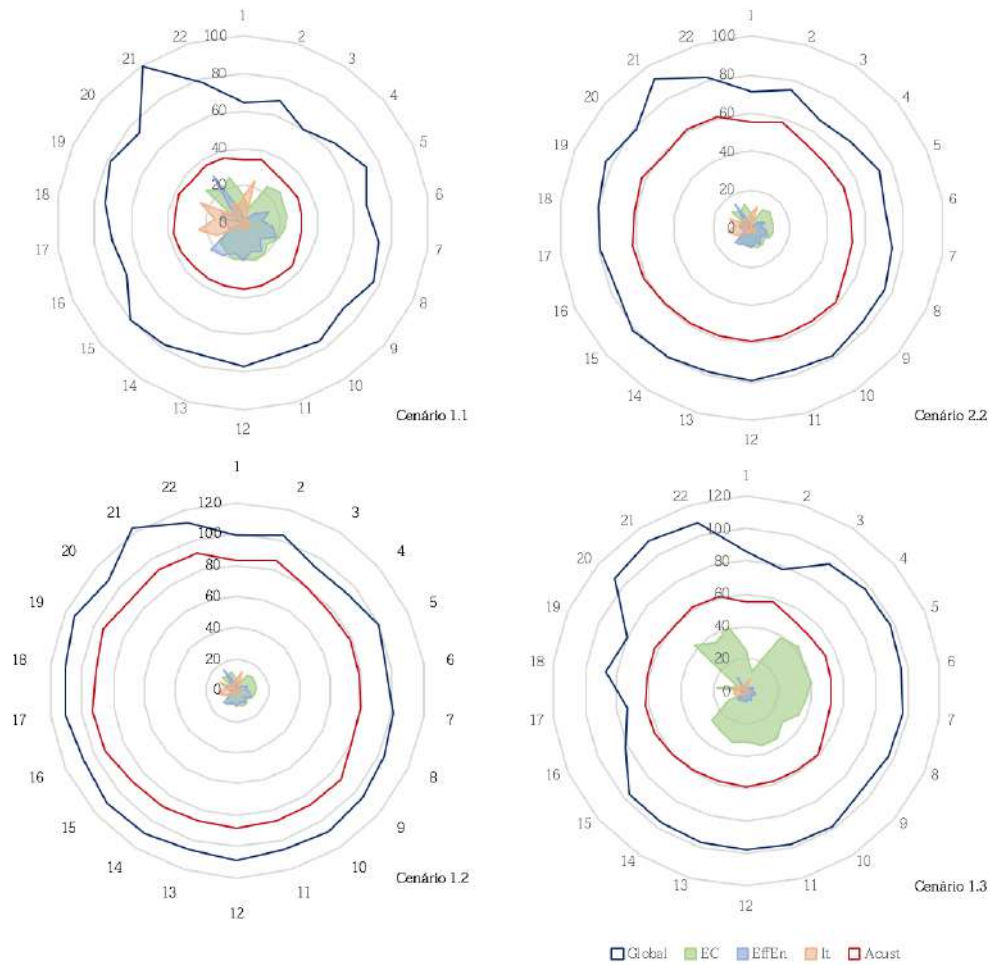


Figura 24. Gráfico Local A e respetivas cenários

No que se refere às paredes simples, estas não predominam na Tabela 12. Apenas no local recetor A, as opções 5 e 8, pois apenas neste conseguem ter um valor mais razoável em termos acústicos, sendo que nos outros casos, estes apresentam valores negativos. Ambas estas paredes são constituídas por panos de tijolo de perfuração vertical, com diferentes espessuras.

Em relação à comparação entre cenários, no local recetor A (Figura 24), consegue-se perceber que, quando há uma prioridade acústica nos cenários (1.2 e 2.2), existe uma conformidade das soluções bastante influenciada pelos resultados da acústica, tal como é visível pelas linhas Global e Acust.

Quanto ao cenário 1.1, este, ao ter uma igualdade na ponderação dos critérios e, sendo este tão inconstante, acaba por criar uma sinuosidade no gráfico de resultados, dada pelos picos existentes em cada um dos critérios, a qual se pode observar mais detalhadamente na Figura 25.

Por último, em relação ao cenário 1.3, este é o que mais se destaca dos quatro casos, onde existe uma grande diferença comparativamente aos outros. Este vem privilegiar outras soluções, maioritariamente soluções de paredes duplas de alvenaria, levando as soluções constituídas por betão armado para as piores posições. Como a linha da acústica é relativamente constante, a mancha “ambiental” acaba por ser a decisiva neste cenário, fazendo com que os resultados sejam muito influenciados pela mesma.

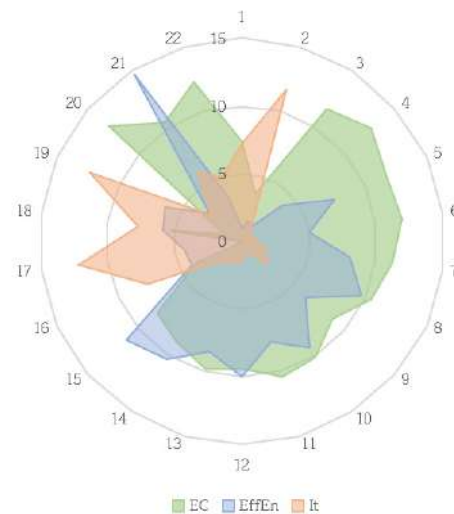


Figura 25. Critérios: Carbono Incorporado, Eficiência Energética e Inércia Térmica

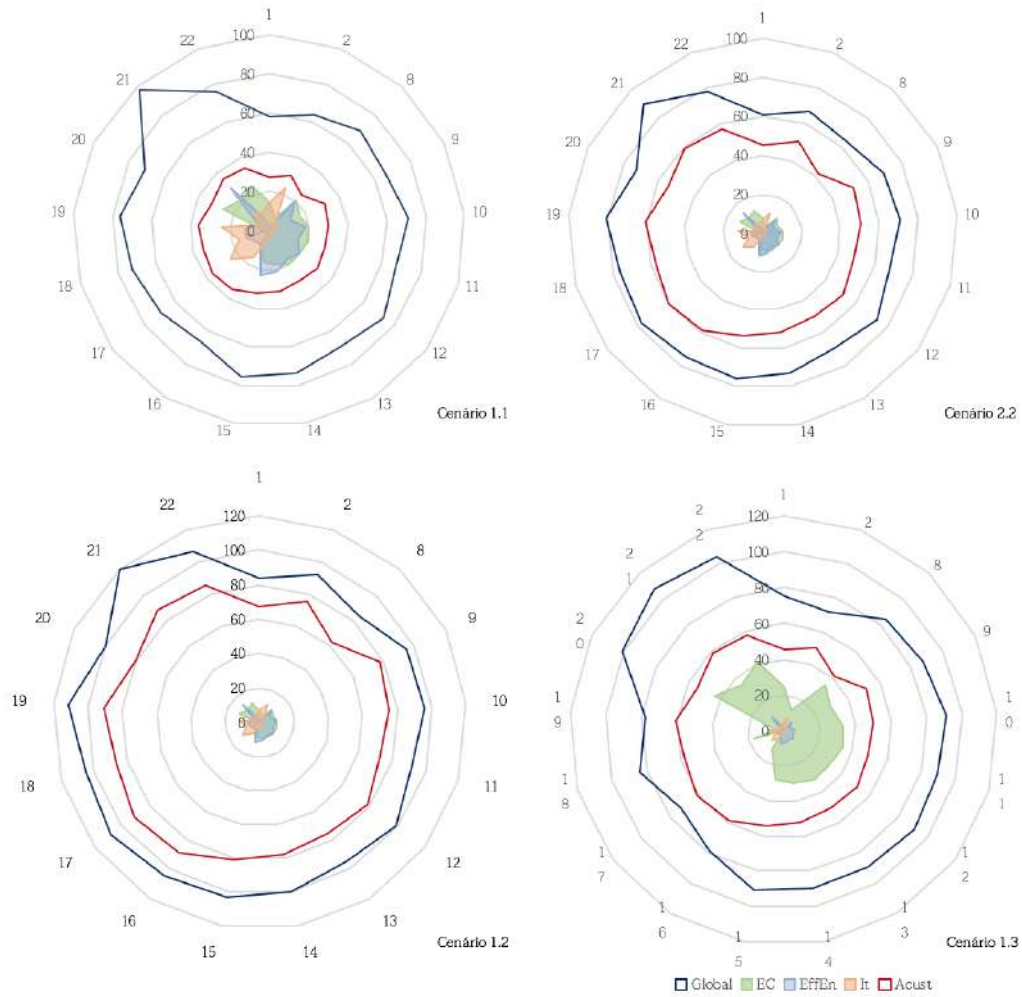


Figura 26. Gráfico Local B e respetivos cenários

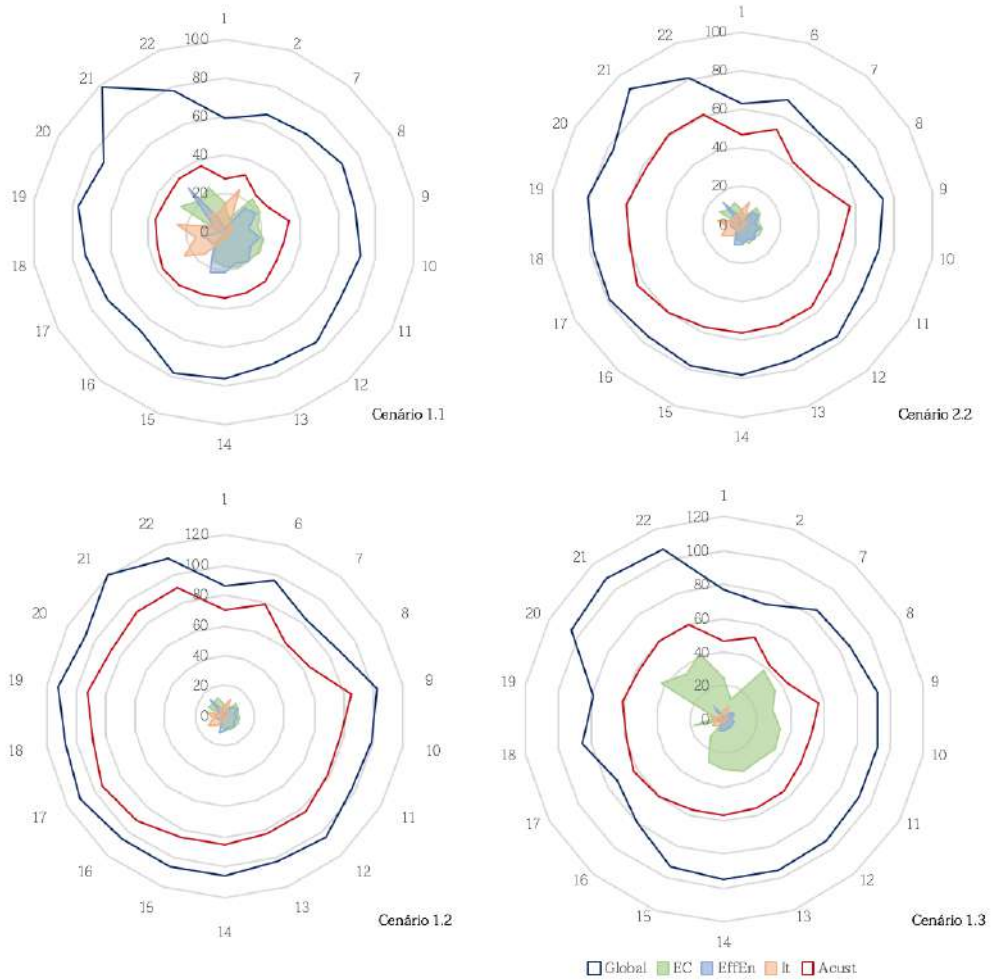


Figura 27. Gráfico Local C e respectivos cenários

Nas restantes análises (Figura 26 e Figura 27) é possível observar um comportamento comum relativamente às soluções construtivas. Diferenciando o valor regulamentar presente no critério acústico, a maior parte das soluções construtivas de paredes simples acabam por não respeitar os requisitos, obtendo valores negativos que não são incluídos nos gráficos.

Como é introduzida esta alteração do requisito acústico para um valor mais extremo – de 45 para 58 –, os resultados a nível da acústica baixam, o que representa uma linha menos constante no gráfico dada à proximidade de algumas soluções dos valores limite.

Relativamente às soluções, é visível uma oscilação não muito significativa do posicionamento das soluções, contudo, como referido anteriormente, a classificação das melhores soluções mantém-se, na sua maioria, inalteradas.

Sistematicamente, em termos de material, é possível observar que, nos cenários onde o impacto ambiental não é decisivo, o betão, seja este armado ou em blocos, prevalece nas primeiras posições, pois é um material forte em massa e densidade. Quando é betão armado, no cenário 1.3 baixa bastante na pontuação, chegando aos piores lugares. Quanto à parede 20, esta, comparativamente às paredes 21 e 22, não é tão boa em termos acústicos, mas, aquando a baixa das paredes de betão armado, esta sobe para um dos primeiros lugares, pois combina bem o desempenho acústico e impacto ambiental.

No que se refere às paredes simples, estas não predominam nas melhores classificações, exceto no local receptor A com as opções 5 e 8, pois apenas neste conseguem ter um valor mais razoável em termos acústicos, visto que nos outros casos apresentam valores negativos. Estas paredes são constituídas por panos de tijolo de perfuração vertical, com diferentes espessuras.

Por comparação às soluções com panos de alvenaria de tijolo, verifica-se que entre o tijolo de furação vertical, maciço e de furação horizontal, há uma prevalência do tijolo de furação vertical quando existe uma preocupação ambiental. Isto, pois, embora tenha um impacto ambiental um pouco mais elevado que o tijolo de furação horizontal, este, dos três tipos mencionados, é aquele que contém melhores valores em termos de desempenho acústico, mas também melhores valores no desempenho energético, obtendo um coeficiente de transmissão térmica mais baixo e uma maior inércia térmica.

Por fim, é possível notar que, para melhores valores acústicos, é necessária uma maior quantidade de massa, o que causa um pior impacto ambiental. Ao contrário deste, consegue-se observar que, para melhores valores acústicos, existe também uma melhoria nos resultados no desempenho energético das mesmas, o que vem a confirmar o que foi previamente estudado.

A melhor opção sugerida pelo software, que combina desempenho acústico, energético e impacto ambiental, é a parede composta por blocos de betão (n.20 Figura 17). Por sua vez, ao perceber que existem

valores muito semelhantes e elevados a nível da classificação e que existe uma tendência relativa às soluções sugeridas pelo programa, pode-se fazer um segundo processo de escolha onde, dentro deste conjunto de soluções preferenciadas, dá-se novamente prioridade a um dos critérios a fim de excluir soluções quem por exemplo, não são tão favoráveis num critério específico.

COMPARAÇÃO ENTRE ÁREA/VOLUME

Para uma melhor comparação relativamente à forma como a área da parede e o volume influenciam as soluções construtivas, é necessário que estas estejam em conformidade quanto aos seus critérios. Por isso, nomeadamente, no caso A, foi necessário alterar o valor regulamentar para 58, de modo a obter, então, os mesmos requisitos. A este novo modelo deu-se o nome de Local Recetor A'.

Analisando separadamente os diferentes cenários, é possível afirmar que as conclusões são semelhantes à análise anterior: os resultados mantêm um padrão relativo, isto é, o que acontece entre A' – B e B – C é muito semelhante nos diversos cenários. Relativamente às soluções construtivas de preferência, estas são as mesmas da comparação anterior.

Em relação aos locais recetores A' e B (Figura 18), presencia-se o mesmo volume recetor, contudo, o local B é composto por uma superfície de parede transmissora de maior dimensão. Sendo que os locais recetores B e C partilham o mesmo troço de transmissão sonora, porém, o local C possui um volume mais amplo.

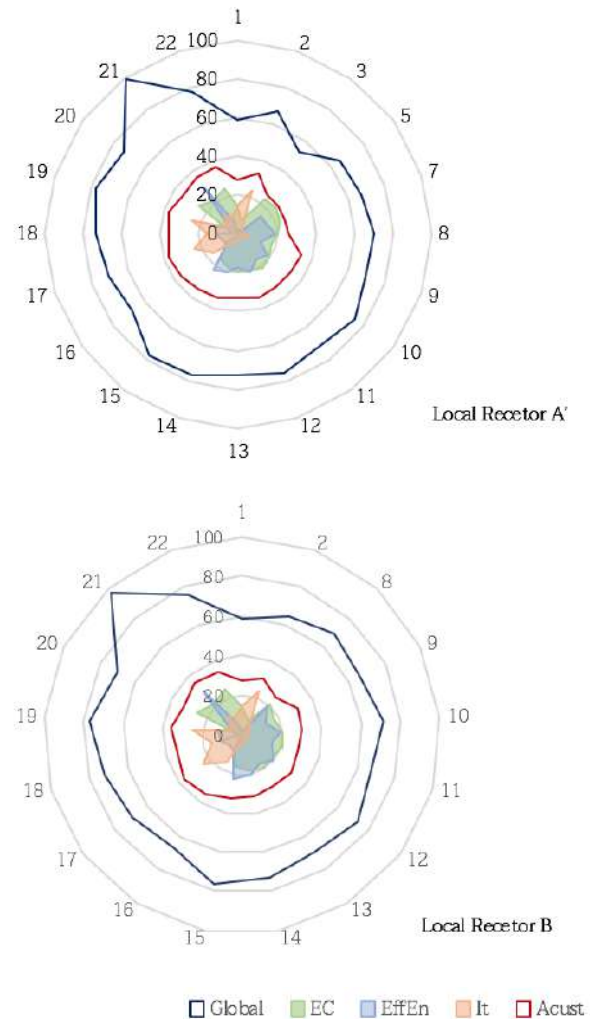


Figura 28. Gráficos relativos ao cenário 1.1 A' – B



Figura 29. Gráficos relativos ao cenário 1.1 B – C

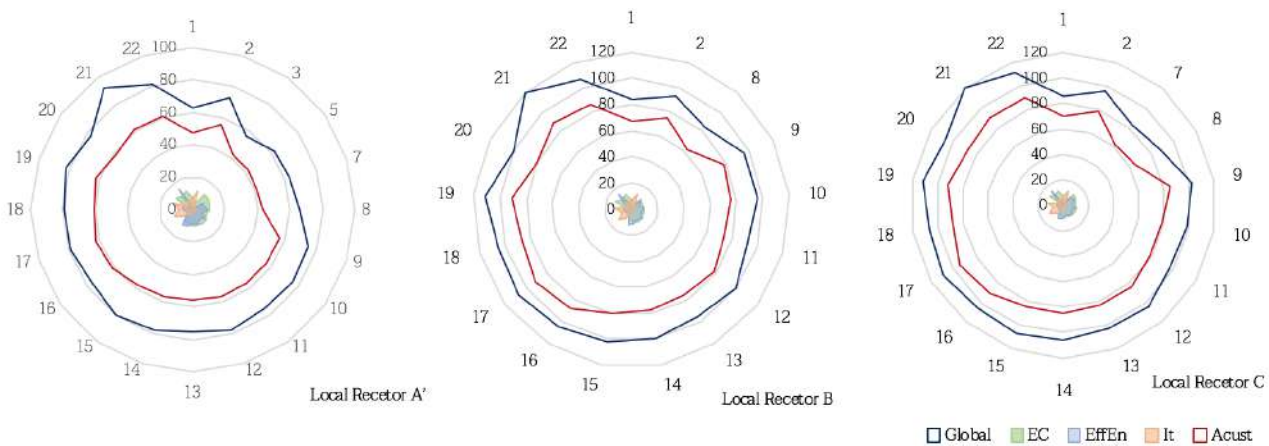


Figura 30. Gráficos relativos ao cenário 1.2

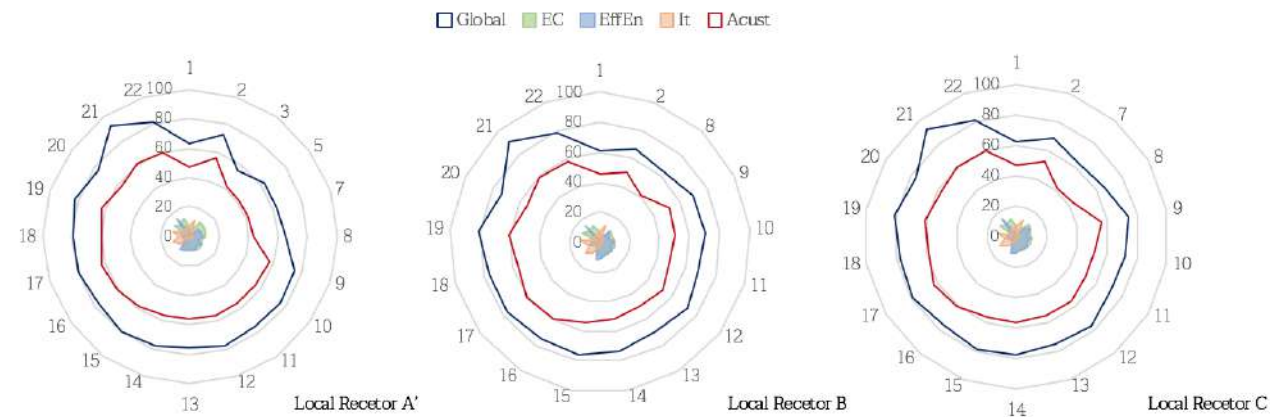


Figura 31. Gráfico relativos ao cenário 2.2

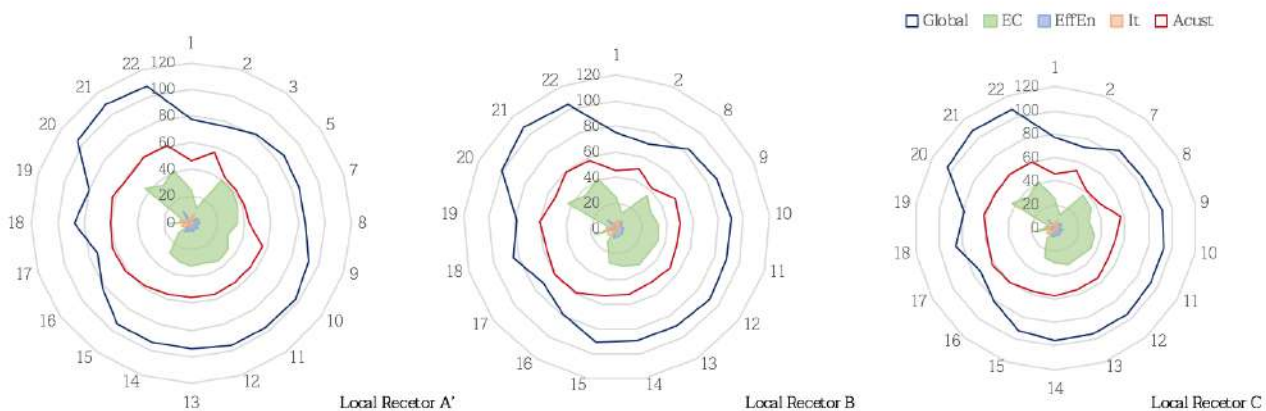


Figura 32. Gráfico relativo ao cenário 1.3

Através dos restantes gráficos, é possível concluir que o mesmo registo se mantém. Há uma maior diferença nos resultados quando ocorre aparecimento ou desaparecimento de soluções de paredes simples, relativo ao seu valor de desempenho acústico face ao regulamento.

Por outras palavras, para o caso de paredes simples, é mais fácil estas respeitarem o regulamento na presença de uma área de transmissão menor e, também, um volume recetor maior. Consequentemente, para uma maior área de transmissão sonora e um volume recetor menor, é necessária uma parede mais resistente, com mais massa.

Enfim, em comparação com os resultados, é possível verificar que quanto menor for a superfície de contacto entre dois espaços, mais benéfico será, pois há uma menor superfície de transmissão de sonora para o espaço recetor. Tendo em consideração o volume do espaço recetor, este, quanto mais amplo, melhor são os resultados, isto porque o som terá um campo de dissipação de energia maior, sendo que num espaço menor haveria, certamente, um maior número de reflexões do som.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E ESTUDOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo criar uma análise complexa de soluções construtivas, através da sua comparação, com o propósito da criação de um ambiente interior com o conforto ideal. Esta análise permitiu uma compreensão do comportamento acústico de paredes, bem como a sua relação com o desempenho energético e impacte ambiental.

Para a realização deste estudo, foram comparadas 22 soluções construtivas com o auxílio do software de apoio à decisão M-MACBETH. Estas soluções foram avaliadas em diversos cenários com diferentes critérios, nomeadamente o desempenho acústico, o desempenho energético e o impacte ambiental. Através dos resultados gerados pelo software, foram criados gráficos, que permitiriam observar simultaneamente a influência dos três critérios nas 22 opções.

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que, ao privilegiar soluções construtivas com maior massa e variedade de panos, é possível obter uma boa condição de isolamento acústico e, ainda, um bom desempenho energético. Por outro lado, quando se adiciona o critério ambiental, as soluções construtivas com mais massa não se encontram totalmente de acordo com o pretendido. Contudo, é possível obter resultados que combinem ambos os critérios, como é o exemplo da utilização de uma parede dupla de blocos de betão ou mesmo uma parede dupla de alvenaria com o isolamento adequado, tal como demonstrado ao longo do trabalho.

Em relação à acústica, é importante perceber que não é apenas uma questão da solução construtiva ideal, mas também da maneira que o sistema construtivo é realizado. Ou seja, é necessário ter-se em atenção às ligações entre os elementos, de modo a não haver perdas de energia através de falhas estruturais.

Neste trabalho apenas foi avaliado o comportamento acústico em paredes interiores, através do $D_{nT,w}$, contudo, seria interessante estender esta análise para um contexto de paredes exteriores, onde a térmica do edifício tenha uma maior influência, de modo a compreender até que ponto o desempenho energético pode alterar os resultados obtidos.

5. BIBLIOGRAFIA

Almeida, G. T. L. (2009). *Análise de Soluções Construtivas para a Verificação de Requisitos Térmicos e Acústicos em Edifícios de Habitação*. Universidade Nova de Lisboa.

Bana e Costa, C. A. (1992). *Structuration, Construction et Exploitation d'un Modèle Multicritère d'Aide à la Décision*. Universidade Técnica de Lisboa.

Bana e Costa, C. A., de Corte, J.-M., & Vansnick, J.-C. (2011). MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique). *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 4, 2945–2950. <https://doi.org/10.1002/9780470400531.eorms0970>

Doumpos, M., & Zopounidis, C. (2014). An Overview of Multiple Criteria Decision Aid. In *Multicriteria Analysis in Finance* (pp. 11–21). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05864-1>

Fei, M., Giovannoni, E., Mocenni, C., Sparacino, E., & Roma, V. (n.d.). *Metodi di analisi multicriterio per la balanced scorecard*. Measurement, 1–18.

Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 1(1), 3–17. <https://doi.org/10.1007/b100605>

Imperialum. (2008). *Manual Acústica.pdf*. Retrieved from <http://www.imperialum.com/?solucoes=manual-acustica/>

Mateus, D. (2008). *Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído*.

Merad, M., Dechy, N., Serir, L., Grabisch, M., & Marcel, F. (2012). Using a multi-criteria decision aid methodology to implement sustainable development principles within an Organization. *European Journal of Operational Research*, 224(3), 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.019>

Organization, W. H. (n.d.). *Noise - Data and Statistics*. Retrieved from <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>

Patrício, J. V. (2003). *acústica nos edifícios*. (LNEC, Ed.) (2003rd ed.). Lisboa: Jorge Patrício.

Regional, M. D. A., Território, M. D. O. Do, & Regional, M. do D. (2007). *Decreto-Lei n.o 9/2007*. *Diário Da República*, 12(Série I), 1–17. Retrieved from http://www.psp.pt/Legislacao/DecLei_9-2007.pdf

Rietkötter, L., Franziska, L., & Rietkötter, B. (2014). Ending the war in multi-criteria decision analysis: Taking the best from two worlds The development and evaluation of guidelines for the use of MACBETH in multi-criteria group decision making for the assessment of new medical products.

Rui, L. R. (2007). A Física Na Audição Humana. Retrieved February 16, 2017, from https://www.if.ufrgs.br/tapf/v18n1_Rui.pdf

Silva, P. M. da. (1998). A Componente Acústica na Reabilitação de Edifícios de Habitação. (LNEC, Ed.). Lisboa.

Spada, A. L. (2006). O Ouvido Humano. Attack Do Brasil, 6. Retrieved from http://www.attack.com.br/artigos_tecnicos/ouvido_humano.pdf

Trevisan, D. (2016). Análise multicritério de paredes exteriores pesadas. ISCTE-IUL. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10071/13271>

Valle, S. do. (2009). Manual Prático de Acústica. (M. & Tecnologia, Ed.) (3rd ed.). Rio de Janeiro.

6. ANEXOS

Tabelas referentes ao modelo MACBETH

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 45

Cenário 1.1

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	99.37	83.33	117.50	48.50	148.15
14	79.16	65.56	90.00	18.50	142.59
21	78.25	98.89	27.50	40.33	146.30
18	77.75	11.67	50.00	99.33	150.00
13	77.30	71.11	82.50	14.83	140.74
11	76.95	75.56	80.00	11.50	140.74
7	76.43	83.89	77.50	15.17	129.17
9	75.54	81.11	75.00	7.17	138.89
17	74.63	42.22	47.50	62.50	146.30
12	73.85	78.33	67.50	10.67	138.89
19	73.73	103.33	25.00	24.00	142.59
6	73.34	89.44	65.00	11.83	127.08
10	72.85	83.33	62.50	6.67	138.89
4	72.41	93.89	60.00	8.67	127.08
16	70.53	-0.56	35.00	97.67	150.00
8	70.16	70.56	50.00	19.33	140.74
2	68.40	28.89	12.50	93.33	138.89
15	68.04	30.00	32.50	61.50	148.15
5	66.99	96.11	40.00	6.83	125.00
3	65.23	101.67	32.50	3.83	122.92
1	64.53	59.44	7.50	57.83	133.33
2.5	59.97	92.78	10.00	10.00	127.08

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.1

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	99.14	83.33	117.50	48.50	147.22
14	78.24	65.56	90.00	18.50	138.89
21	77.79	98.89	27.50	40.33	144.44
18	77.75	11.67	50.00	99.33	150.00
13	76.14	71.11	82.50	14.83	136.11
11	75.79	75.56	80.00	11.50	136.11
17	74.17	42.22	47.50	62.50	144.44
9	74.15	81.11	75.00	7.17	133.33
19	72.81	103.33	25.00	24.00	138.89
12	72.46	78.33	67.50	10.67	133.33
10	71.46	83.33	62.50	6.67	133.33
16	70.53	-0.56	35.00	97.67	150.00
7	70.18	83.89	77.50	15.17	104.17
8	69.00	70.56	50.00	19.33	136.11
15	67.81	30.00	32.50	61.50	147.22
2	67.01	28.89	12.50	93.33	133.33
6	66.57	89.44	65.00	11.83	100.00
4	65.64	93.89	60.00	8.67	100.00
1	59.32	59.44	7.50	57.83	112.50
2.5	53.19	92.78	10.00	10.00	100.00
5	-189.26	96.11	40.00	6.83	-900.00
3	-440.50	101.67	32.50	3.83	-1900.00

POLIVALENTE / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.1

Options	Overall EC	EffEn	It	Acust	
20	97.75	83.33	117.50	48.50	141.67
18	76.71	11.67	50.00	99.33	145.83
21	76.05	98.89	27.50	40.33	137.50
14	75.81	65.56	90.00	18.50	129.17
13	73.36	71.11	82.50	14.83	125.00
11	73.01	75.56	80.00	11.50	125.00
17	72.43	42.22	47.50	62.50	137.50
9	71.03	81.11	75.00	7.17	120.84
19	70.37	103.33	25.00	24.00	129.17
16	69.49	-0.56	35.00	97.67	145.83
12	69.33	78.33	67.50	10.67	120.84
7	69.14	83.89	77.50	15.17	100.00
10	67.29	83.33	62.50	6.67	116.67
15	66.42	30.00	32.50	61.50	141.67
8	66.22	70.56	50.00	19.33	125.00
2	63.89	28.89	12.50	93.33	120.84
1	58.28	59.44	7.50	57.83	108.34
6	-183.43	89.44	65.00	11.83	-900.00
4	-434.36	93.89	60.00	8.67	-1900.00
5	-439.26	96.11	40.00	6.83	-1900.00
2.5	-446.81	92.78	10.00	10.00	-1900.00
3	-690.50	101.67	32.50	3.83	-2900.00

BIBLIOTECA / POLIVALENTE

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.1

Options	Overall EC	EffEn	It	Acust	
20	98.44	83.33	117.50	48.50	144.44
21	77.79	98.89	27.50	40.33	144.44
14	77.54	65.56	90.00	18.50	136.11
18	77.06	11.67	50.00	99.33	147.22
13	76.14	71.11	82.50	14.83	136.11
11	75.10	75.56	80.00	11.50	133.33
17	73.47	42.22	47.50	62.50	141.67
19	72.81	103.33	25.00	24.00	138.89
12	72.46	78.33	67.50	10.67	133.33
9	72.07	81.11	75.00	7.17	125.00
16	70.53	-0.56	35.00	97.67	150.00
7	70.18	83.89	77.50	15.17	104.17
10	69.38	83.33	62.50	6.67	125.00
8	69.00	70.56	50.00	19.33	136.11
15	67.11	30.00	32.50	61.50	144.44
6	66.57	89.44	65.00	11.83	100.00
2	64.93	28.89	12.50	93.33	125.00
1	59.32	59.44	7.50	57.83	112.50
4	-184.36	93.89	60.00	8.67	-900.00
5	-189.26	96.11	40.00	6.83	-900.00
2.5	-196.81	92.78	10.00	10.00	-900.00
3	-440.50	101.67	32.50	3.83	-1900.00

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 45

Cenário 1.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	123.76	83.33	117.50	48.50	148.15
18	113.88	11.67	50.00	99.33	150.00
21	112.28	98.89	27.50	40.33	146.30
14	110.88	65.56	90.00	18.50	142.59
17	110.46	42.22	47.50	62.50	146.30
16	110.26	-0.56	35.00	97.67	150.00
13	109.02	71.11	82.50	14.83	140.74
11	108.84	75.56	80.00	11.50	140.74
19	108.16	103.33	25.00	24.00	142.59
15	108.09	30.00	32.50	61.50	148.15
9	107.21	81.11	75.00	7.17	138.89
12	106.37	78.33	67.50	10.67	138.89
10	105.87	83.33	62.50	6.67	138.89
8	105.45	70.56	50.00	19.33	140.74
2	103.64	28.89	12.50	93.33	138.89
7	102.80	83.89	77.50	15.17	129.17
6	100.21	89.44	65.00	11.83	127.08
4	99.75	93.89	60.00	8.67	127.08
1	98.93	59.44	7.50	57.83	133.33
5	95.99	96.11	40.00	6.83	125.00
3	94.07	101.67	32.50	3.83	122.92
2.5	93.52	92.78	10.00	10.00	127.08

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	123.18	83.33	117.50	48.50	147.22
18	113.88	11.67	50.00	99.33	150.00
21	111.12	98.89	27.50	40.33	144.44
16	110.26	-0.56	35.00	97.67	150.00
17	109.30	42.22	47.50	62.50	144.44
14	108.56	65.56	90.00	18.50	138.89
15	107.51	30.00	32.50	61.50	147.22
13	106.12	71.11	82.50	14.83	136.11
11	105.95	75.56	80.00	11.50	136.11
19	105.85	103.33	25.00	24.00	138.89
9	103.74	81.11	75.00	7.17	133.33
12	102.89	78.33	67.50	10.67	133.33
8	102.55	70.56	50.00	19.33	136.11
10	102.39	83.33	62.50	6.67	133.33
2	100.17	28.89	12.50	93.33	133.33
7	87.17	83.89	77.50	15.17	104.17
1	85.91	59.44	7.50	57.83	112.50
6	83.28	89.44	65.00	11.83	100.00
4	82.82	93.89	60.00	8.67	100.00
2.5	76.60	92.78	10.00	10.00	100.00
5	-544.63	96.11	40.00	6.83	-900.00
3	-1170.25		101.67	32.50	3.83 -19

POLIVALENTE / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	119.70	83.33	117.50	48.50	141.66
18	111.27	11.67	50.00	99.33	145.83
16	107.65	-0.56	35.00	97.67	145.83
21	106.77	98.89	27.50	40.33	137.50
17	104.96	42.22	47.50	62.50	137.50
15	104.04	30.00	32.50	61.50	141.66
14	102.48	65.56	90.00	18.50	129.16
19	99.77	103.33	25.00	24.00	129.16
13	99.18	71.11	82.50	14.83	125.00
11	99.00	75.56	80.00	11.50	125.00
9	95.93	81.11	75.00	7.17	120.83
8	95.61	70.56	50.00	19.33	125.00
12	95.08	78.33	67.50	10.67	120.83
2	92.36	28.89	12.50	93.33	120.83
10	91.98	83.33	62.50	6.67	116.66
7	84.57	83.89	77.50	15.17	100.00
1	83.30	59.44	7.50	57.83	108.33
6	-541.72	89.44	65.00	11.83	-900.00
4	-1167.18	93.89	60.00	8.67	-1900.00
5	-1169.63	96.11	40.00	6.83	-1900.00
2.5	-1173.40	92.78	10.00	10.00	-1900.00
3	-1795.25	101.67	32.50	3.83	-2900.00

BIBLIOTECA / POLIVALENTE

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	121.44	83.33	117.50	48.50	144.44
18	112.14	11.67	50.00	99.33	147.22
21	111.12	98.89	27.50	40.33	144.44
16	110.26	-0.56	35.00	97.67	150.00
17	107.57	42.22	47.50	62.50	141.67
14	106.82	65.56	90.00	18.50	136.11
13	106.12	71.11	82.50	14.83	136.11
19	105.85	103.33	25.00	24.00	138.89
15	105.78	30.00	32.50	61.50	144.44
11	104.21	75.56	80.00	11.50	133.33
12	102.89	78.33	67.50	10.67	133.33
8	102.55	70.56	50.00	19.33	136.11
9	98.53	81.11	75.00	7.17	125.00
10	97.19	83.33	62.50	6.67	125.00
2	94.97	28.89	12.50	93.33	125.00
7	87.17	83.89	77.50	15.17	104.17
1	85.91	59.44	7.50	57.83	112.50
6	83.28	89.44	65.00	11.83	100.00
4	-542.18	93.89	60.00	8.67	-900.00
5	-544.63	96.11	40.00	6.83	-900.00
2.5	-548.40	92.78	10.00	10.00	-900.00
3	-1170.25	101.67	32.50	3.83	-1900.00

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 45

Cenário 2.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	123.76	83.33	117.50	48.50	148.15
18	113.88	11.67	50.00	99.33	150.00
21	112.28	98.89	27.50	40.33	146.30
14	110.88	65.56	90.00	18.50	142.59
17	110.46	42.22	47.50	62.50	146.30
16	110.26	-0.56	35.00	97.67	150.00
13	109.02	71.11	82.50	14.83	140.74
11	108.84	75.56	80.00	11.50	140.74
19	108.16	103.33	25.00	24.00	142.59
15	108.09	30.00	32.50	61.50	148.15
9	107.21	81.11	75.00	7.17	138.89
12	106.37	78.33	67.50	10.67	138.89
10	105.87	83.33	62.50	6.67	138.89
8	105.45	70.56	50.00	19.33	140.74
2	103.64	28.89	12.50	93.33	138.89
7	102.80	83.89	77.50	15.17	129.17
6	100.21	89.44	65.00	11.83	127.08
4	99.75	93.89	60.00	8.67	127.08
1	98.93	59.44	7.50	57.83	133.33
5	95.99	96.11	40.00	6.83	125.00
3	94.07	101.67	32.50	3.83	122.92
2.5	93.52	92.78	10.00	10.00	127.08

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 2.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	123.18	83.33	117.50	48.50	147.22
18	113.88	11.67	50.00	99.33	150.00
21	111.12	98.89	27.50	40.33	144.44
16	110.26	-0.56	35.00	97.67	150.00
17	109.30	42.22	47.50	62.50	144.44
14	108.56	65.56	90.00	18.50	138.89
15	107.51	30.00	32.50	61.50	147.22
13	106.12	71.11	82.50	14.83	136.11
11	105.95	75.56	80.00	11.50	136.11
19	105.85	103.33	25.00	24.00	138.89
9	103.74	81.11	75.00	7.17	133.33
12	102.89	78.33	67.50	10.67	133.33
8	102.55	70.56	50.00	19.33	136.11
10	102.39	83.33	62.50	6.67	133.33
2	100.17	28.89	12.50	93.33	133.33
7	87.17	83.89	77.50	15.17	104.17
1	85.91	59.44	7.50	57.83	112.50
6	83.28	89.44	65.00	11.83	100.00
4	82.82	93.89	60.00	8.67	100.00
2.5	76.60	92.78	10.00	10.00	100.00
5	-544.63	96.11	40.00	6.83	-900.00
3	-1170.25	101.67	32.50	3.83	-1900.00

POLIVALENTE / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 2.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	119.70	83.33	117.50	48.50	141.66
18	111.27	11.67	50.00	99.33	145.83
16	107.65	-0.56	35.00	97.67	145.83
21	106.77	98.89	27.50	40.33	137.50
17	104.96	42.22	47.50	62.50	137.50
15	104.04	30.00	32.50	61.50	141.66
14	102.48	65.56	90.00	18.50	129.16
19	99.77	103.33	25.00	24.00	129.16
13	99.18	71.11	82.50	14.83	125.00
11	99.00	75.56	80.00	11.50	125.00
9	95.93	81.11	75.00	7.17	120.83
8	95.61	70.56	50.00	19.33	125.00
12	95.08	78.33	67.50	10.67	120.83
2	92.36	28.89	12.50	93.33	120.83
10	91.98	83.33	62.50	6.67	116.66
7	84.57	83.89	77.50	15.17	100.00
1	83.30	59.44	7.50	57.83	108.33
6	-541.72	89.44	65.00	11.83	-900.00
4	-1167.18	93.89	60.00	8.67	-1900.00
5	-1169.63	96.11	40.00	6.83	-1900.00
2.5	-1173.40	92.78	10.00	10.00	-1900.00
3	-1795.25	101.67	32.50	3.83	-2900.00

BIBLIOTECA / POLIVALENTE

Requisito Acústico: 58

Cenário 2.2

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	121.44	83.33	117.50	48.50	144.44
18	112.14	11.67	50.00	99.33	147.22
21	111.12	98.89	27.50	40.33	144.44
16	110.26	-0.56	35.00	97.67	150.00
17	107.57	42.22	47.50	62.50	141.67
14	106.82	65.56	90.00	18.50	136.11
13	106.12	71.11	82.50	14.83	136.11
19	105.85	103.33	25.00	24.00	138.89
15	105.78	30.00	32.50	61.50	144.44
11	104.21	75.56	80.00	11.50	133.33
12	102.89	78.33	67.50	10.67	133.33
8	102.55	70.56	50.00	19.33	136.11
9	98.53	81.11	75.00	7.17	125.00
10	97.19	83.33	62.50	6.67	125.00
2	94.97	28.89	12.50	93.33	125.00
7	87.17	83.89	77.50	15.17	104.17
1	85.91	59.44	7.50	57.83	112.50
6	83.28	89.44	65.00	11.83	100.00
4	-542.18	93.89	60.00	8.67	-900.00
5	-544.63	96.11	40.00	6.83	-900.00
2.5	-548.40	92.78	10.00	10.00	-900.00
3	-1170.25	101.67	32.50	3.83	-1900.00

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 45

Cenário 1.3

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	110.29	83.33	117.50	48.50	148.15
21	107.82	98.89	27.50	40.33	146.30
19	106.56	103.33	25.00	24.00	142.59
9	98.52	81.11	75.00	7.17	138.89
10	98.36	83.33	62.50	6.67	138.89
4	97.80	93.89	60.00	8.67	127.08
11	97.75	75.56	80.00	11.50	140.74
12	97.03	78.33	67.50	10.67	138.89
6	96.63	89.44	65.00	11.83	127.08
3	96.61	101.67	32.50	3.83	122.92
7	96.50	83.89	77.50	15.17	129.17
13	96.39	71.11	82.50	14.83	140.74
5	96.04	96.11	40.00	6.83	125.00
14	95.77	65.56	90.00	18.50	142.59
8	93.82	70.56	50.00	19.33	140.74
2.5	93.28	92.78	10.00	10.00	127.08
17	87.72	42.22	47.50	62.50	146.30
1	85.77	59.44	7.50	57.83	133.33
15	82.06	30.00	32.50	61.50	148.15
18	79.81	11.67	50.00	99.33	150.00
2	78.73	28.89	12.50	93.33	138.89
16	73.32	-0.56	35.00	97.67	150.00

ADMINISTRATIVO / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.3

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	109.90	83.33	117.50	48.50	147.22
21	107.05	98.89	27.50	40.33	144.44
19	105.01	103.33	25.00	24.00	138.89
9	96.20	81.11	75.00	7.17	133.33
10	96.05	83.33	62.50	6.67	133.33
11	95.82	75.56	80.00	11.50	136.11
12	94.71	78.33	67.50	10.67	133.33
13	94.46	71.11	82.50	14.83	136.11
14	94.23	65.56	90.00	18.50	138.89
8	91.89	70.56	50.00	19.33	136.11
17	86.95	42.22	47.50	62.50	144.44
4	86.51	93.89	60.00	8.67	100.00
7	86.08	83.89	77.50	15.17	104.17
6	85.34	89.44	65.00	11.83	100.00
2.5	82.00	92.78	10.00	10.00	100.00
15	81.68	30.00	32.50	61.50	147.22
18	79.81	11.67	50.00	99.33	150.00
1	77.09	59.44	7.50	57.83	112.50
2	76.41	28.89	12.50	93.33	133.33
16	73.32	-0.56	35.00	97.67	150.00
5	-331.08	96.11	40.00	6.83	-900.00

POLIVALENTE / BIBLIOTECA

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.3

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	107.58	83.33	117.50	48.50	141.67
21	104.15	98.89	27.50	40.33	137.50
19	100.96	103.33	25.00	24.00	129.17
11	91.19	75.56	80.00	11.50	125.00
9	91.00	81.11	75.00	7.17	120.84
14	90.18	65.56	90.00	18.50	129.17
13	89.83	71.11	82.50	14.83	125.00
12	89.50	78.33	67.50	10.67	120.84
10	89.10	83.33	62.50	6.67	116.67
8	87.26	70.56	50.00	19.33	125.00
7	84.35	83.89	77.50	15.17	100.00
17	84.05	42.22	47.50	62.50	137.50
15	79.36	30.00	32.50	61.50	141.67
18	78.07	11.67	50.00	99.33	145.83
1	75.36	59.44	7.50	57.83	108.34
16	71.59	-0.56	35.00	97.67	145.83
2	71.21	28.89	12.50	93.33	120.84
6	-331.36	89.44	65.00	11.83	-900.00
4	-746.89	93.89	60.00	8.67	-1900.00
5	-747.78	96.11	40.00	6.83	-1900.00
2.5	-751.40	92.78	10.00	10.00	-1900.00
3	-1163.04	101.67	32.50	3.83	-2900.00

BIBLIOTECA / POLIVALENTE

Requisito Acústico: 58

Cenário 1.3

Options	Overall	EC	EffEn	It	Acust
20	108.74	83.33	117.50	48.50	144.44
21	107.05	98.89	27.50	40.33	144.44
19	105.01	103.33	25.00	24.00	138.89
12	94.71	78.33	67.50	10.67	133.33
11	94.66	75.56	80.00	11.50	133.33
13	94.46	71.11	82.50	14.83	136.11
14	93.07	65.56	90.00	18.50	136.11
9	92.73	81.11	75.00	7.17	125.00
10	92.57	83.33	62.50	6.67	125.00
8	91.89	70.56	50.00	19.33	136.11
7	86.08	83.89	77.50	15.17	104.17
17	85.79	42.22	47.50	62.50	141.67
6	85.34	89.44	65.00	11.83	100.00
15	80.52	30.00	32.50	61.50	144.44
18	78.65	11.67	50.00	99.33	147.22
1	77.09	59.44	7.50	57.83	112.50
16	73.32	-0.56	35.00	97.67	150.00
2	72.94	28.89	12.50	93.33	125.00
4	-330.19	93.89	60.00	8.67	-900.00
5	-331.08	96.11	40.00	6.83	-900.00
2.5	-334.70	92.78	10.00	10.00	-900.00
3	-746.34	101.67	32.50	3.83	-1900.00

VERTENTE PRÁTICA

INFRAESTRUTURA E PAISAGEM

Integrantes do grupo:

Aline Gonçalves

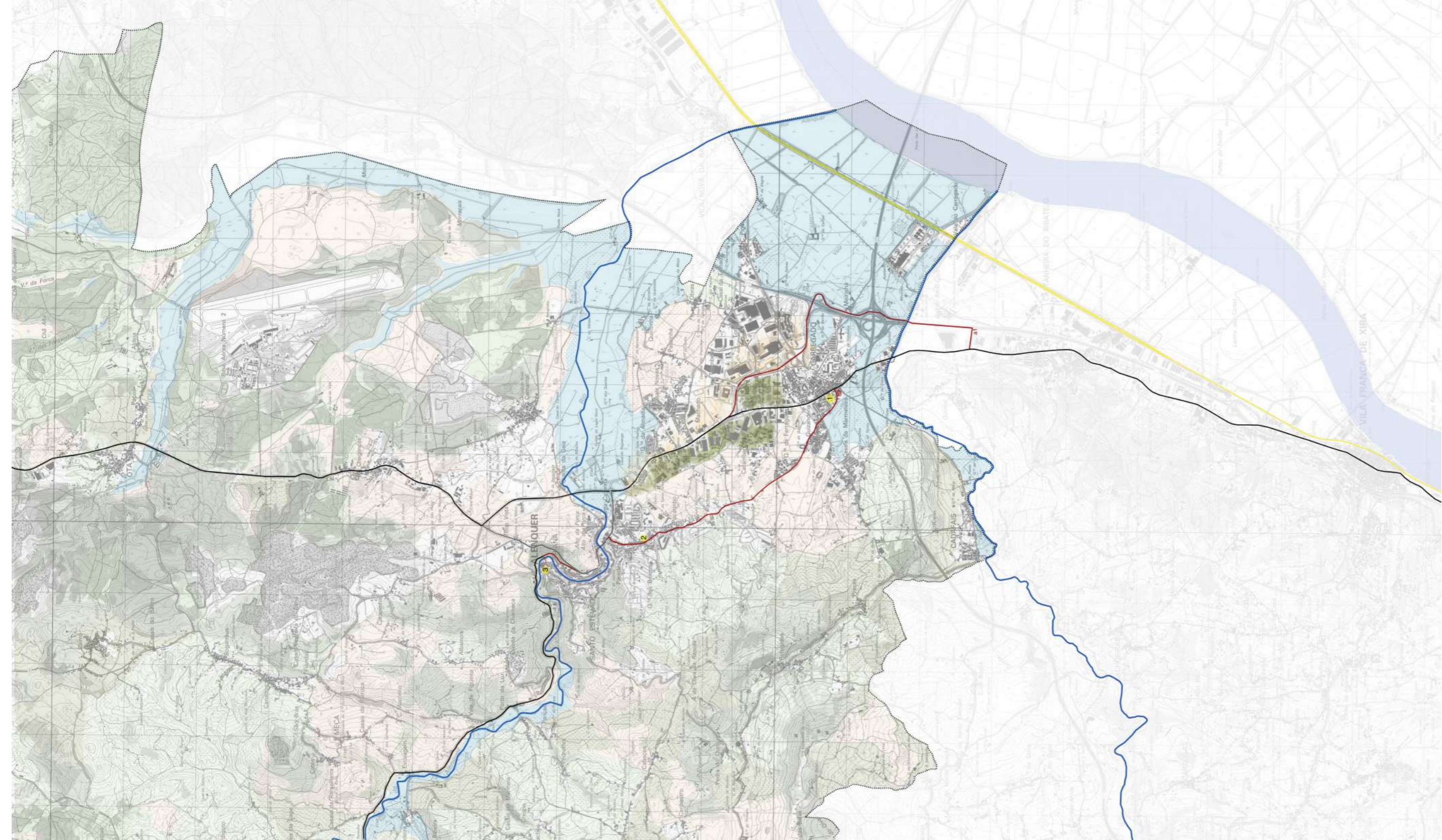
Jéssica Morgado

Mariana Nunes

*“A estrada-rua mistura tudo num conflito permanente,
camiões e peões, carros e autocarros, motorizadas e
patins em linha, cruzamentos com outras estradas. (...)
Rápida de mais para quem lá vive, lenta e congestionada
para quem lá passa.” (p. 16)
(Álvaro Domingos, 2009)*

Legenda referente à Figura da página seguinte:**Proposta de Grupo**

Alternativa à N1 para pesados	a1
Alternativa à N1 para ligeiros	a2
Limite do Concelho
Linha de Água	————
Canal do Alviela
Estrada N1/N9	————
Troço da N1 em desuso
Caminhos de Ferro	————
Proposta de Alternativa à N1	————
Percurso Interno



PROPOSTA DE GRUPO

A proposta de intervenção de grupo advém de uma análise do concelho de Alenquer, resultando numa intervenção no eixo que liga a freguesia do Carregado e a vila de Alenquer.

Desta maneira, a estratégia teve como ponto de partida o eixo que une estes dois núcleos urbanos, a Estrada Nacional 1. Com o aparecimento das vias rápidas, a importância desta estrada como o principal eixo viário que liga Lisboa ao Norte tem vindo a desaparecer. Com estas, verifica-se uma redução da circulação automóvel nas estradas nacionais, sendo, neste momento, utilizada, maioritariamente, por veículos pesados e circulação de curtas distâncias.

Assim, um dos lugares que teria uma grande importância neste percurso, dado a sua localização relativamente a esta estrada, perdeu-se com o seu desvio para o lado nascente, deixando de passar tangente à Vila e, por conseguinte, de se a avistar.

Ao mesmo tempo, no Carregado, a maior confluência do tráfego de veículos pesados, levou a que este se dividisse entre as duas margens da estrada, perdendo a sua unidade.

De modo a reduzir a afluência destes no centro do Carregado, é proposto um desvio dos veículos pesados para a Autoestrada 1. A entrada nesta é feita na Nacional 3, entre Castanheira do Ribatejo e a Vala do Car-

regado, e a saída na IC2, uma estrada limítrofe de carácter industrial, retomando a N1 acima do núcleo urbano do Carregado.

Este desvio potencia uma nova vivência da estrada, em que, através da aproximação à escala humana, adquire um carácter de rua. Esta vivência é reforçada por, nesta proposta, ser considerada a Rua Principal como alternativa de acesso à Vila de Alenquer. Este desvio automóvel permite que, para além da alteração do carácter da Estrada Nacional através redução de tráfego, se dê uma transformação do carácter desta Rua.

Atualmente, a malha urbana ao longo da Rua Principal encontra-se fragmentada e secundarizada. Através da alteração do perfil desta rua, alargando as vias e passeios, é possibilitada uma ligação automóvel mais fácil, podendo potenciar a expansão e agregação urbana.

Assim, da mesma maneira que a Estrada Nacional adquire um carácter mais de rua, a Rua Principal poderá ganhar um carácter mais de estrada.

Este carácter é reforçado através da implementação de uma mancha verde que pretende, para além de atribuir uma nova paisagem à Estrada Nacional, no lugar que, atualmente, é fortemente industrializado, cria um limite de cintura entre a zona industrial e a potencial zona urbana, agregada à Rua Principal.

“A rua da estrada é como um centro em linha, uma corda onde tudo se pendura; uma estrada-mercado. O problema da rua da estrada é a fimbria de espaço que está entre o asfalto e os edifícios: valeta, passeio, ausência de um e de outro, estacionamento, rampas de acesso a edifícios e lotes, interrupções, problemas. A rua da estrada não tem aquelas magníficas árvores que dantes havia e se fechavam em túneis de floresta-galeria, nem tem os passeios amplos e confortáveis que é suposto as ruas terem. “(p. 15-16)

A identificação do potencial da Estrada Nacional 1 e a intervenção nesta, quer nas suas dimensões, quer no seu percurso, possibilita a reestruturação de vários lugares ao longo do seu trajeto. Para além da aproximação de escala feita no Carregado e a redefinição da Rua Principal, esta viabiliza, também, um momento de chegada a Alenquer, pretendendo retomar a posição da Vila face à EN1.

Para este efeito, propõe-se a recuperação do troço de estrada que entrou em desuso com o aparecimento da IC2, originando um bypass que conduziu à redução da utilização do troço da EN1, acabando por esquecer Alenquer.

As intervenções propostas pretendem afirmar a intenção da reestruturação dos três lugares anteriormente identificados.

No Carregado escolhe-se um lugar em conflito com a Estrada Nacional e com a Rua Principal, rasgando o sítio onde, atualmente se encontra a Associação Desportiva do Carregado, que possibilite uma nova ligação entre as duas ruas enunciadas. Esta ligação é concretizada através de um parque urbano em conjunto com variados equipamentos públicos, transformando este lugar numa nova centralidade para o Carregado.

No percurso da Rua Principal opta-se por intervir num lugar que, atualmente, se encontra congestionado, dado a desorganização espacial dos programas que lhe estão inerentes - o Sport Alenquer e Benfica. A reorganização deste lugar permite, para além da construção de novos equipamentos para a associação despor-

tiva, criar espaços verdes, e permitir a ligação a outros equipamentos públicos, como a Escola Secundária e o Pavilhão Municipal.

Em Alenquer, desenha-se um momento de chegada, propiciado pela passagem da Estrada Nacional. Esta chegada, que atualmente é feita a sul da vila de Alenquer, é transferida para a zona norte, num lugar mais amplo com maior potencialidade para efetuar trocas rodoviárias e automóveis – o Areal. Neste sítio, presentemente com pouca atividade, atribui-se novas vivências, não só através da introdução de um interface rodoviário no areal, mas também de um plano de acessibilidades à Vila Alta.

As propostas enunciadas, em conjunto com os desvios automóveis e a arborização da zona industrial, constituem uma reflexão sobre este território, através de uma intersecção entre infraestrutura e paisagem.

Texto realizado pelo grupo constituído por Aline Gonçalves,
Jéssica Morgado e Mariana Nunes.

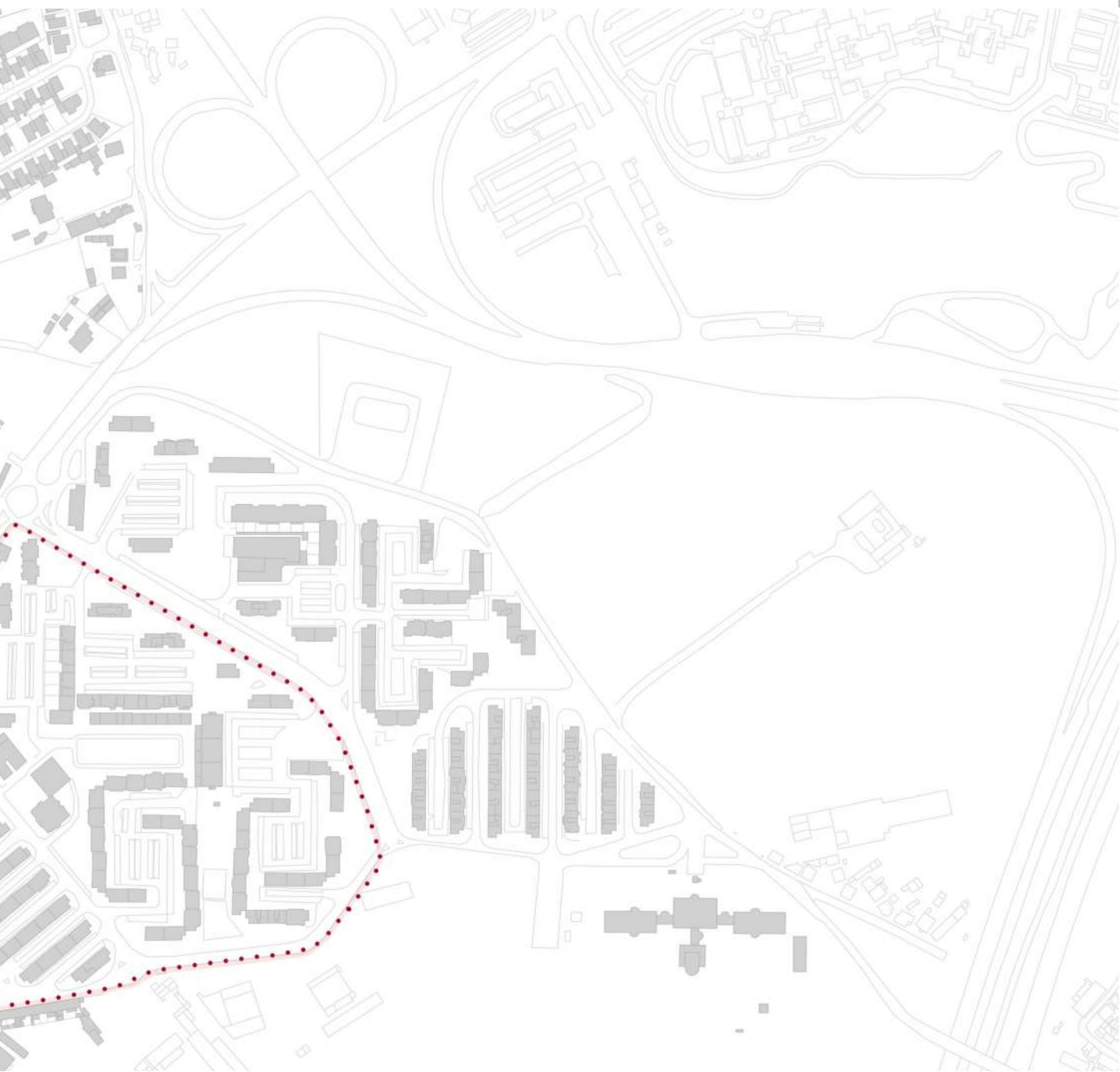
“A Rua da Estrada emerge sobre os escombros da dupla perda da “cidade” e do “campo” (...) Mais do que lugar, ela emerge como resultado da relação, do movimento. O fluxo intenso que a percorre é o seu melhor trunfo e a sua própria justificação. Sem fluxo não há troca nem relação, gênese primordial da velha cidade. Dizia alguém explicando as manobras de sedução que praticava para tornar o seu negócio visível para quem vai na estrada: O problema é fazê-los parar.”

BIBLIOTECA, MERCADO E PRAÇA DO CARREGADO

Por:

Aline Gonçalves





BIBLIOTECA, PRAÇA E MERCADO DO CARREGADO

O trabalho da vertente prática de Projeto Final de Arquitetura tem como ponto inicial as questões enunciadas no trabalho de grupo, incidindo principalmente nos pontos relativos ao Carregado.

Consideramos o Carregado como um território da periferia da Área Metropolitana de Lisboa (AML), que sofreu um crescimento urbano acelerado ao longo das últimas décadas, fruto da sua proximidade a um conjunto de infraestruturas de grande importância para a AML. Notamos que ao longo da década de 1990 e primeira década do novo milénio, era na zona Ota, imediatamente a nordeste deste local, que se planeava a construção do Novo Aeroporto de Lisboa (NAL). As infraestruturas construídas e planeadas e a situação de limite à coroa externa da AML, atraíram diversa indústrias e múltiplas áreas logísticas. No entanto toda esta construção deramou sobre o território com suporte em instrumentos de planeamento sem definição de pormenor, sem propostas morfológicas. Por conseguinte, este lugar resulta numa enorme complexidade e contrastes de escalas e de usos a nível urbano (Figura 1).



Figura 1 Fotografia aérea do Carregado (Terceira Dimensão, 2008)





Figura 3 Estrada da Meirinha (fotografia de autor, 2017)



Figura 4 Cruzamento Estrada N1 e Rua Principal (fotografia de autor, 2017)

Figura 2 (Página anterior)
Infraestrutura vs. Paisagem
(fotografia de autor, 2017)

Dada a sua proximidade à várzea do rio Tejo, no cruzamento estratégico entre a estrada Nacional 1 (N1) e a Estrada da Azambuja (N3), que liga a toda a zona mítica da Ribatejo, o Carregado nasceu de um caráter rural, composta por áreas de quintas e seus acessos. Contudo, esta característica foi-se perdendo no decorrer dos anos dando lugar ao edificado de comércio, de indústria e habitação urbana. A ausência de um planeamento interventivo sobre o território auxiliou o desenvolvimento de uma mancha urbana feita de retalhos, onde o espaço público é mais sobranço do que estruturante.

O antigo centro do Carregado acabou por crescer a partir do cruzamento de dois eixos de estradas nacionais (N1 e N3), onde passou a concentrar a atividade comercial e intensidade urbana, tal como é visível na Figura 5. Em meados dos anos '60, com a já forte presença de transportes – linha ferroviária desde o século XIX, mas a rede de autoestradas chegava agora– neste local, acompanhando a transformação económica e social do país, numa situação acelerada após o 25 de Abril de 1974, há todo um processo de crescimento urbano desestruturado e de progressiva intensidade e densidade, transformando radicalmente o antigo sabor rural do Carregado (Figura 6), sem contrapartida de espaço público ou equipamentos de suporte e de estrutura urbanas.

Dada esta leitura, o objetivo deste trabalho de projeto concentrou-se precisamente em desenvolver uma ideia-projeto que permita a criação de um espaço central público, gerando um vazio de grandes dimensões, com uma escala simbólica de centralidade, que seja destinado ao lazer, ao convívio e à reunião da população, numa ten-



Figura 5 Estrada Nacional N1 (Google Maps, 2015)



Figura 6 Bairro da Barrada



Figura 7 Cruzamento Estrada N1 e Rua Principal

tativa de equilibrar um território tão fortemente periférico.

Devido ao referido crescimento urbano não-estruturado, o espaço urbano é atravessado impiedosamente por eixos viários de grande intensidade, que interligam múltiplas áreas industriais, comerciais, logísticas e habitacionais. Situação esta de que a presença estruturante da N1 e da N3, atravessando o centro deste lugar, são exemplares. Para melhorar esta situação, tal como anteriormente mencionado no trabalho de grupo, foi atribuída à Rua Principal condições de acesso a Alenquer, para que esta constitua uma alternativa à Estrada Nacional N1, permitindo assim um alívio no tráfego automóvel e uma alternativa de crescimento urbano futuro, afastado da presença desta estrada supra-municipal.

Tendo em conta a Rua Principal como esta alternativa, é definido o local onde atualmente se situa a Associação Desportiva do Carregado como zona de ligação entre estas duas vias através de um parque urbano, proporcionando um vazio onde a paisagem rural (Figura 7) rompe, visualmente, com a estrada até à malha urbana.

Figura 7 (Próxima página)
Paisagem rural da Rua Principal
(Fotografia de autor, 2017)



presente Mercado se situar numa zona-limite do Carregado, fazendo com que este não seja devidamente aproveitado, por um lado, dada a distância a áreas residências que o tornam menos atrativo face às superfícies comerciais nas vizinhanças, por outro, garante movimento complementar ao restante programa, equilibrando o equipamento contruído com o equipamento espaço público.

Estes programas funcionam num mesmo edifício que se prolonga em paralelo à praça-parque, de modo a permitir que o vazio urbano proporcionado seja perceptível em toda a profundidade, interligando N1, N3, Carregado Antigo e Carregado Novo.

O desenvolvimento do projeto da nova praça-parque urbano do Carregado, localizada na charneira entre a estrada N1 e a Estrada Principal, assinala simbolicamente esta intenção de reequilibrar a estrutura urbana existente. A praça aloja ainda a construção de um edifício de carácter público de modo a ampliar o efeito de uma nova centralidade no Carregado. Este edifício é composto por dois programas principais: o Mercado e a Biblioteca do Carregado. A importância destes programas, associadas à Praça, viabiliza a existência de uma cafetaria, que o não só serve os programas, mas também o espaço exterior. Nesta valência de Biblioteca é ainda incluído um espaço sénior em ligação com a mesma, de modo a estender o programa a todas as idades.

A escolha destes programas deve-se, por um lado, à falta de um espaço de Biblioteca adequado à dimensão deste município e, por outro lado, ao facto do

O edifício desenvolve-se através de três longas lajes horizontais acima da cota térrea, pontualmente perfuradas, permitindo diferentes relações com os espaços adjacentes, designadamente alguma permeabilidade e atravessamento no sentido transversal, funcionando como um edifício cidade, pese o facto de ser tão claramente definido formalmente.

A distribuição funcional do programa é definida-apreendida por um espaço de interrupção do edifício, na cota térrea, onde existe um pátio central que funciona como elemento de divisão e distribuição de programas, bem como local de receção da Biblioteca e da Cafetaria.

Ambos os programas necessitam de espaços de apoio (*staff*), administração e serviços, sendo que, para estes, o acesso é feito pela parte sudeste do edifício, e


ocupando um conjunto de blocos de betão, de modo a permitir maior privacidade dos espaços. O restante do edifício, tendo um carácter mais público, quer-se com uma grande ligação com a envolvente, tanto do edifício para a praça-parque, quanto desta para o edifício. Para tal este é coberto parcialmente por uma “pele” metálica perfurada, evitando uma ligação demasiado direta que venha a perturbar o funcionamento dos espaços, mas permitindo a perceção de que algo está do lado de lá... Esta opção da pele é ainda fundamental para garantir um maior controlo solar e sonoro.

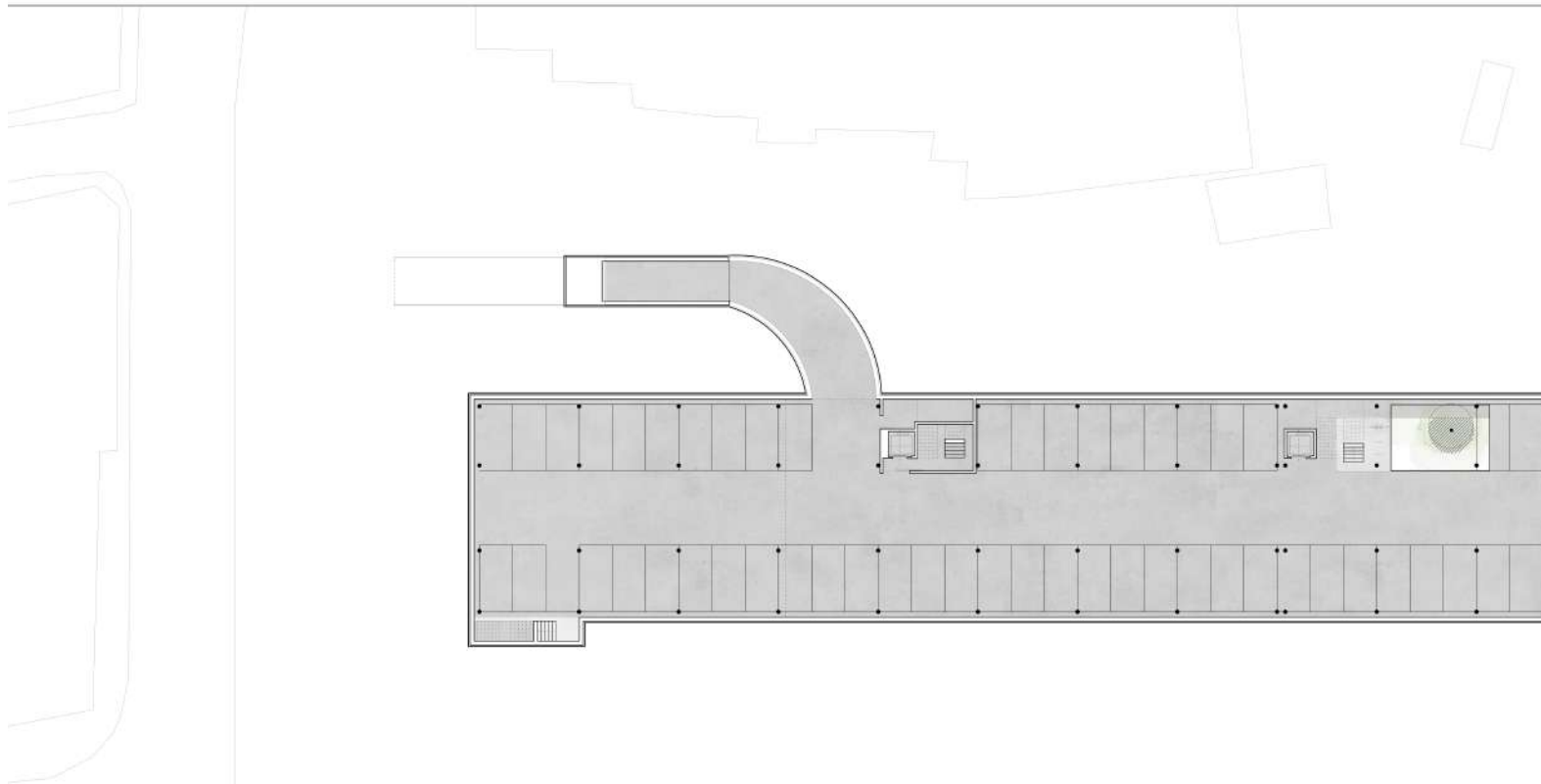
Estes lugares – Biblioteca, Mercado e Praça do Carregado, propõem criar uma nova centralidade, com capacidade de regeneração das áreas urbanas imediatamente envolventes, dando pistas para um futuro eixo de expansão urbana e, ainda, recuperando a ligação simbólica com o território rural, mediante a abertura da praça para Sul, para a estrada Principal e para os campos lavrados além desta, quebrando o sentimento, ou mesmo o estigma de excessiva poluição, densidade e confusão transmitida pelo local.

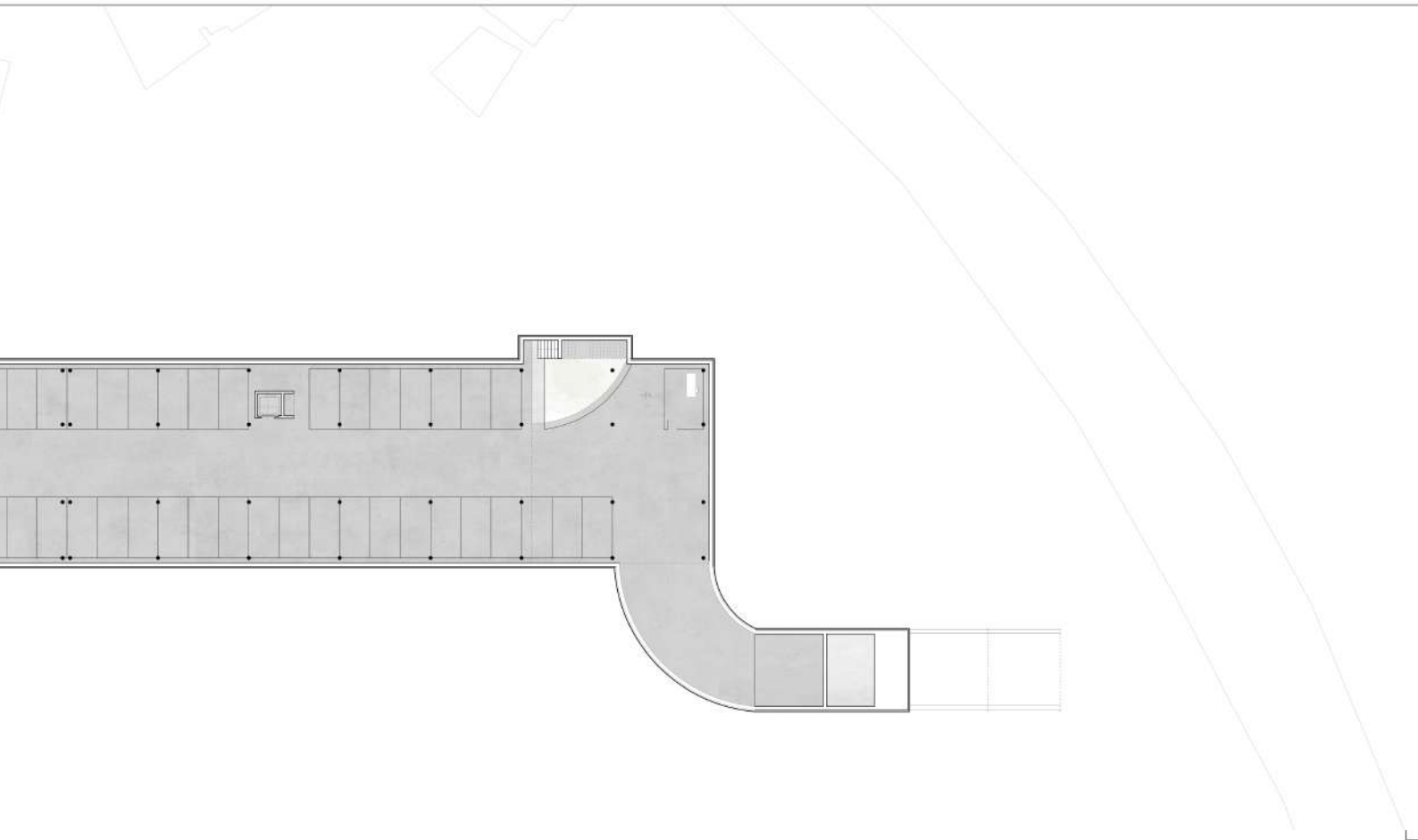
DESENHOS TÉCNICOS

Planta de Implantação | N 

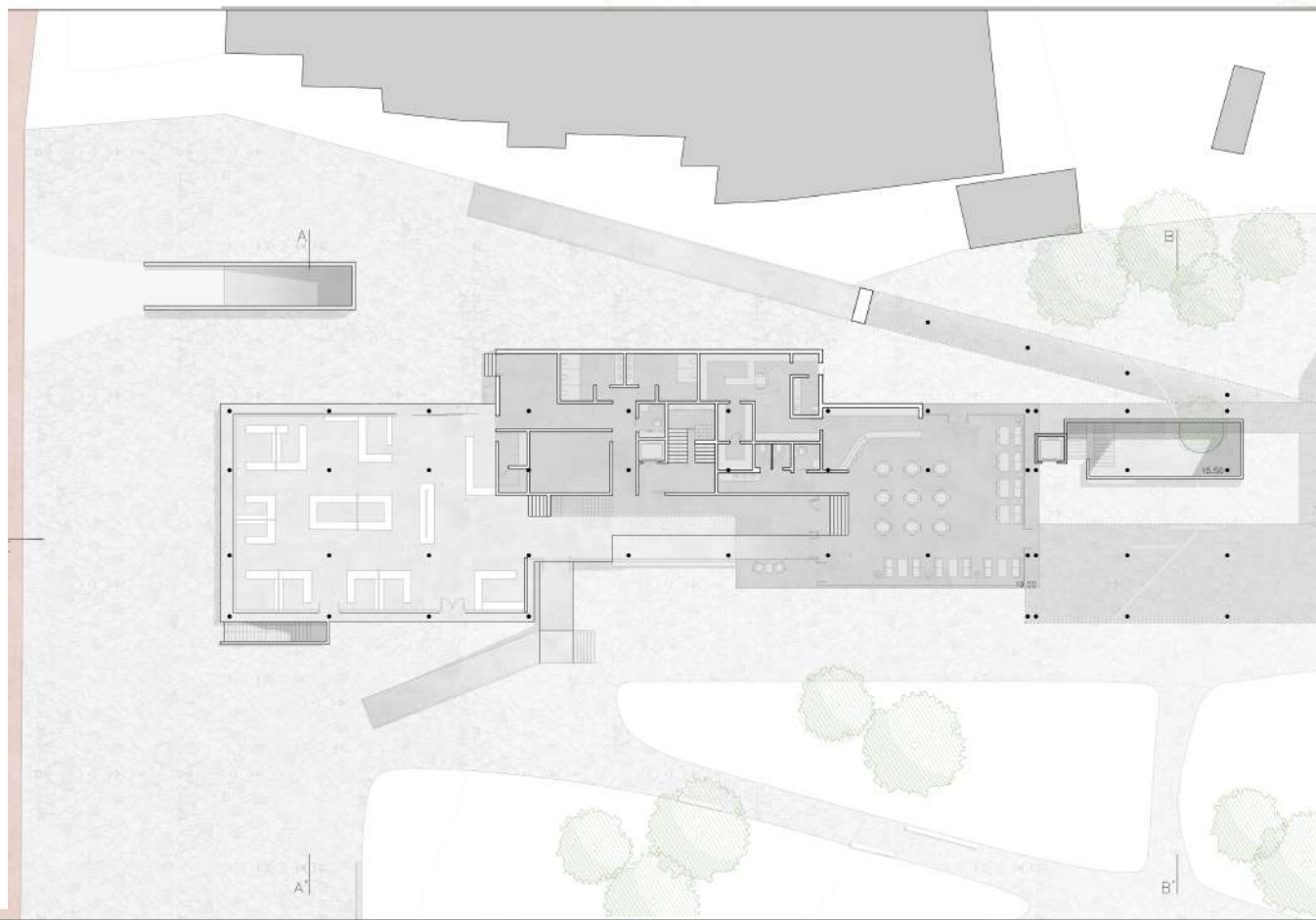


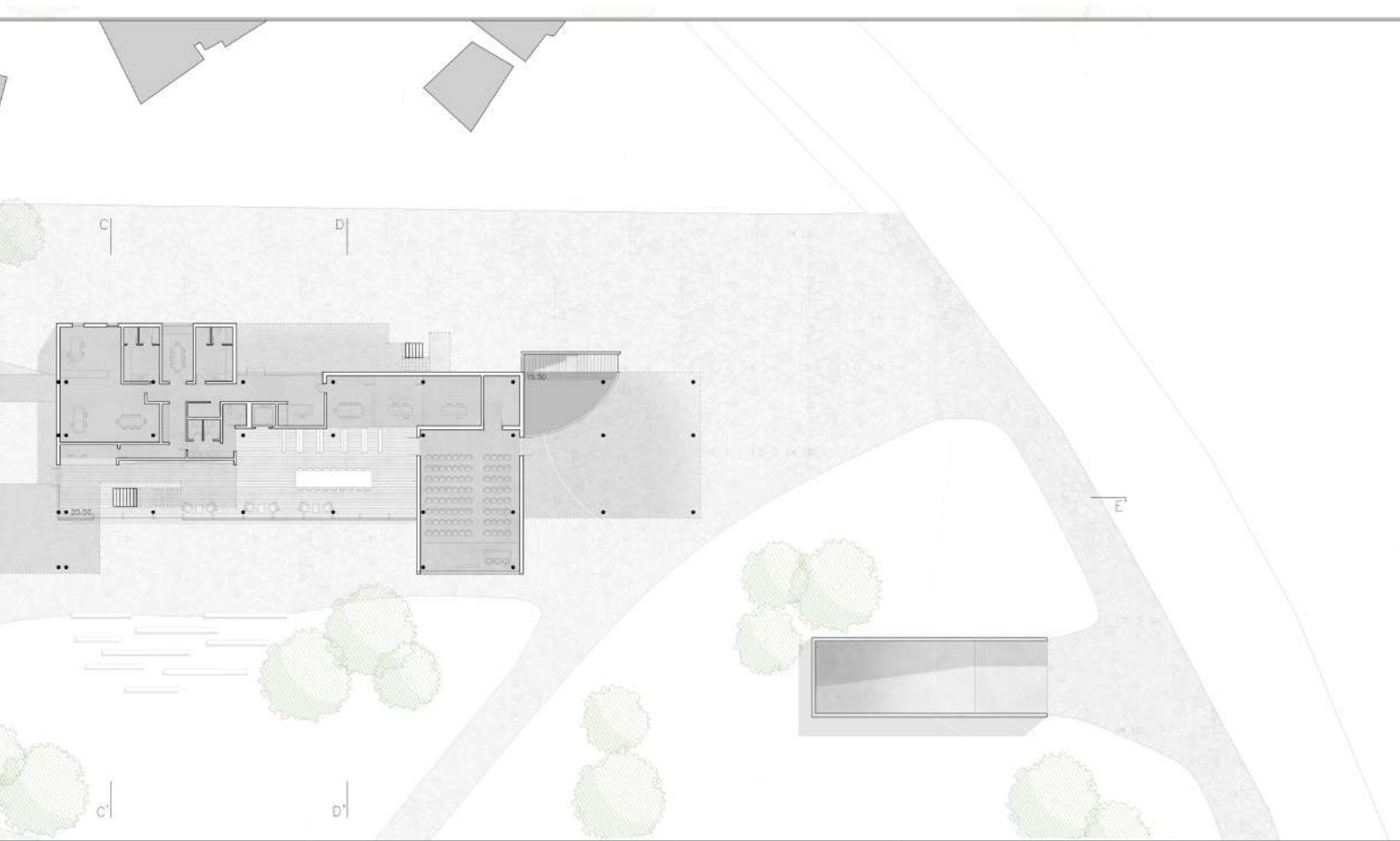
Planta piso -1 | Cota 16,7 | 1:500 | N 



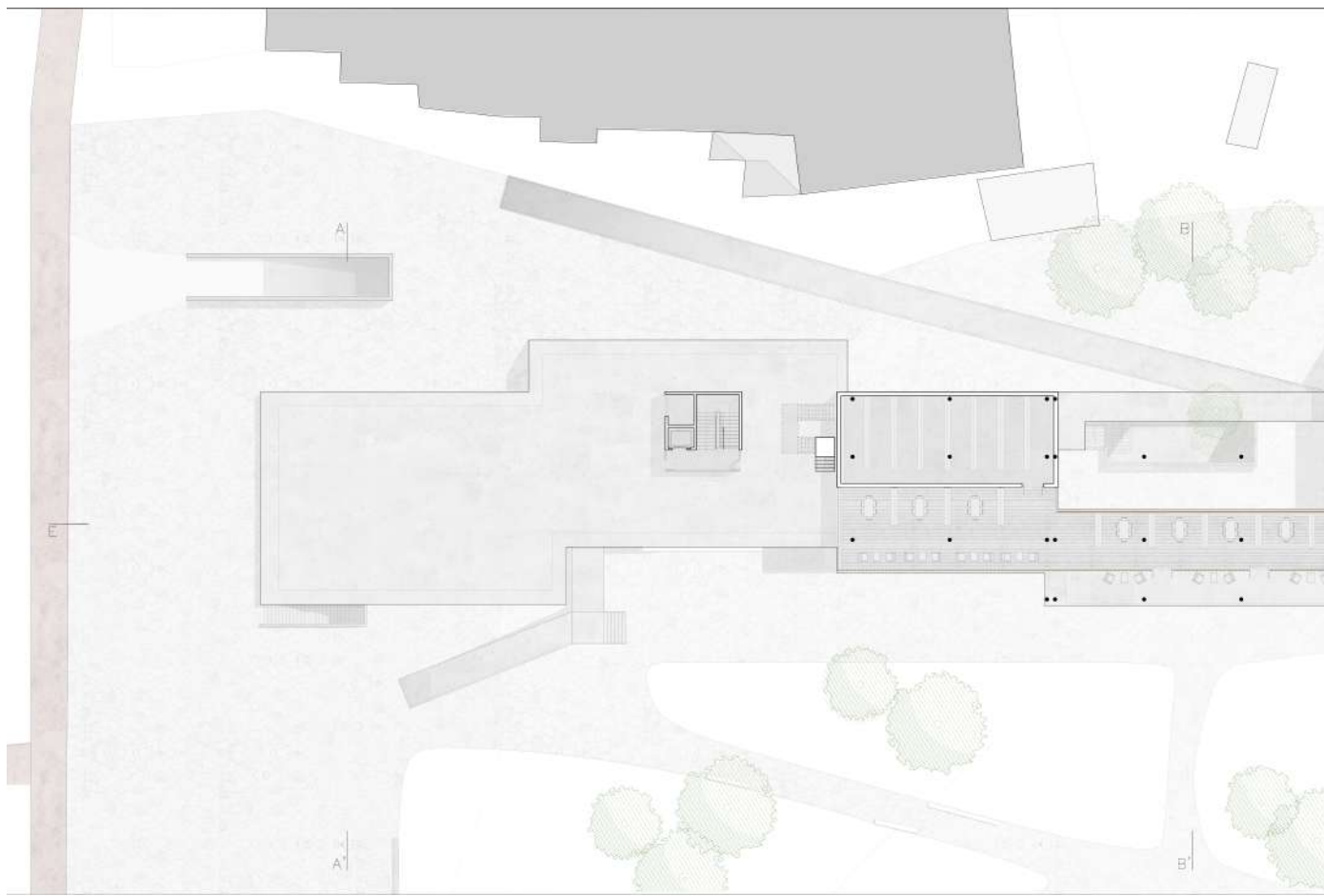


Planta piso 0 | Cota 23,5 | 1:500 | N 



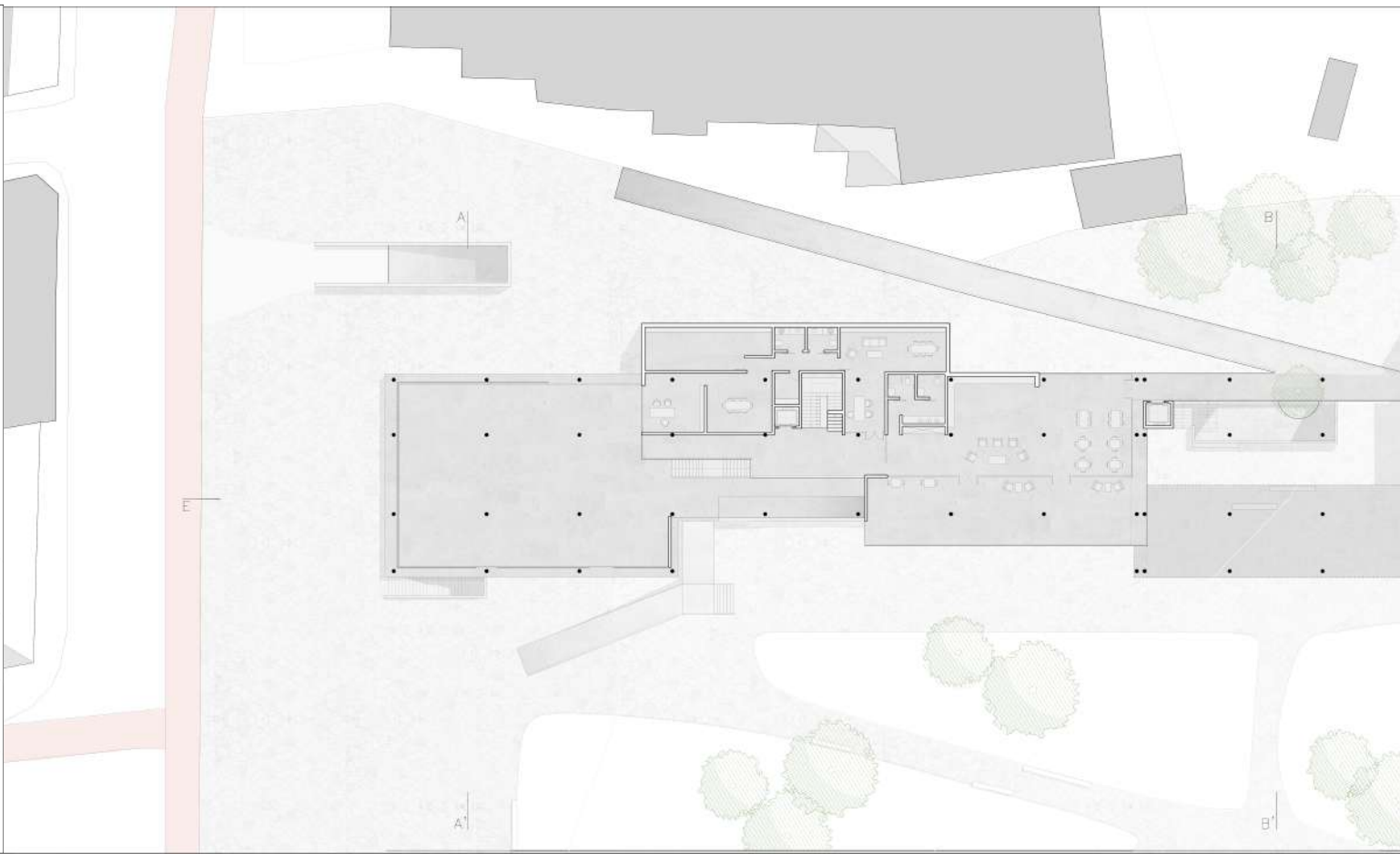


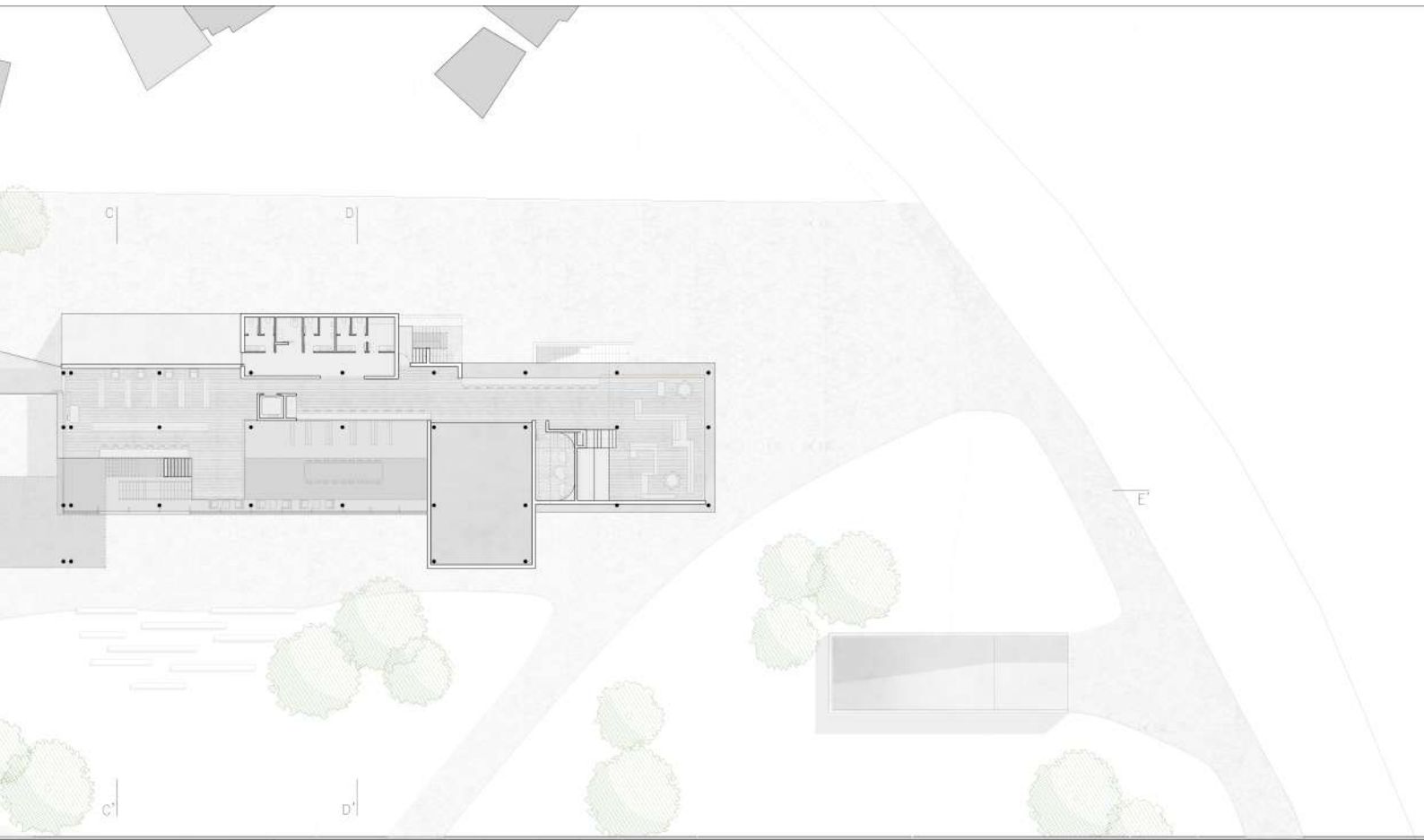
Plano do piso 1 | Cota 24,7 | 1:500 | N

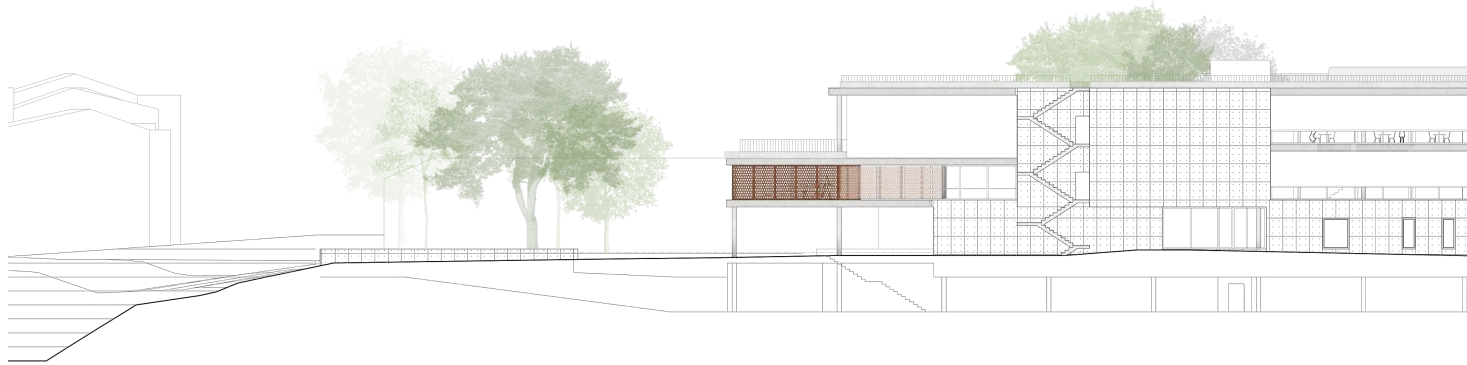
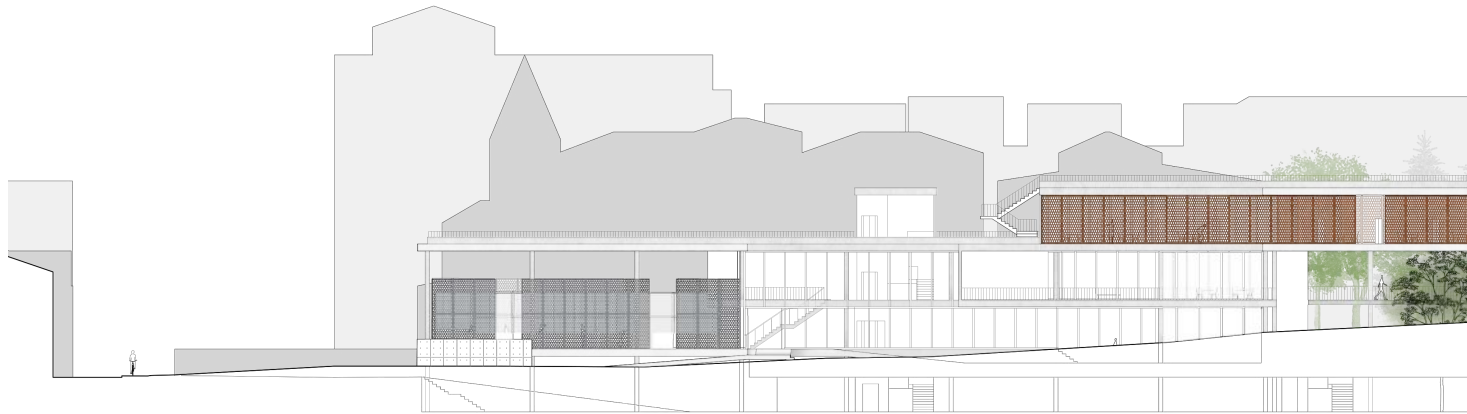


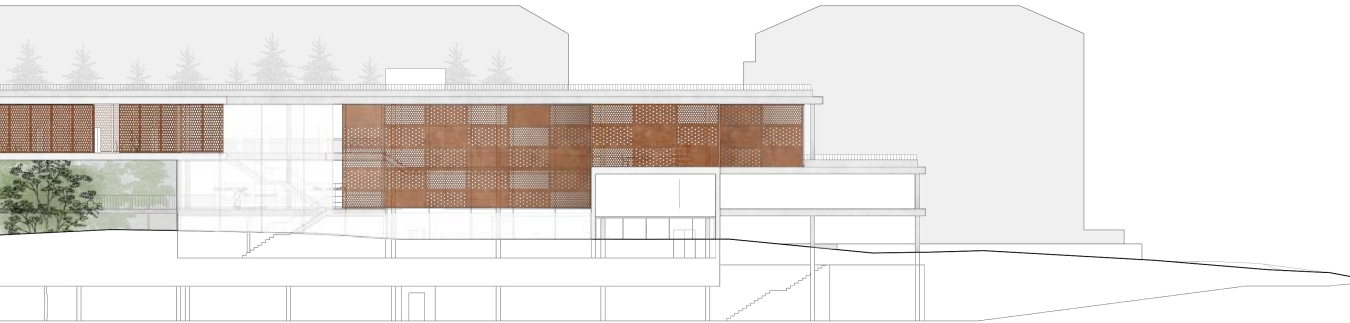


Planta piso 2 | Cota 27,7 | 1:500 | N 

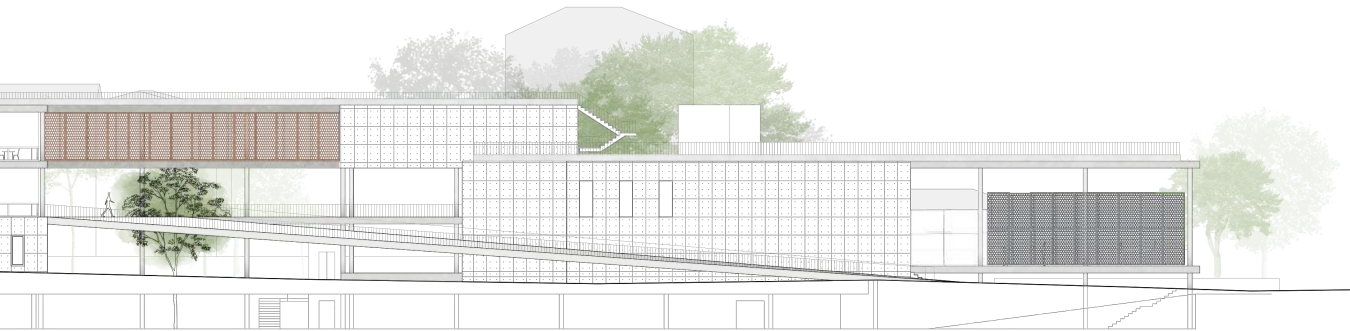




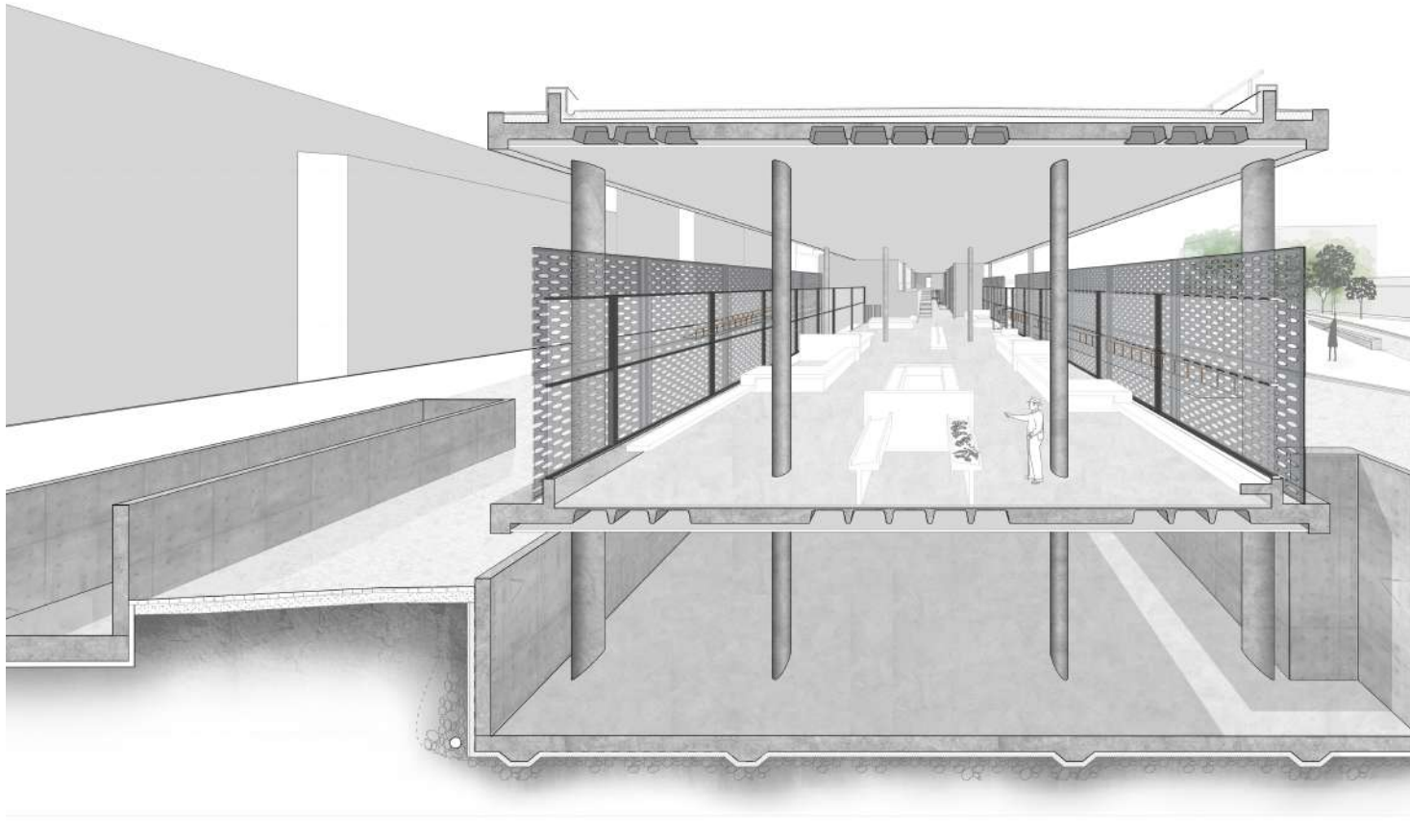




Alçado Noroeste | 1:500

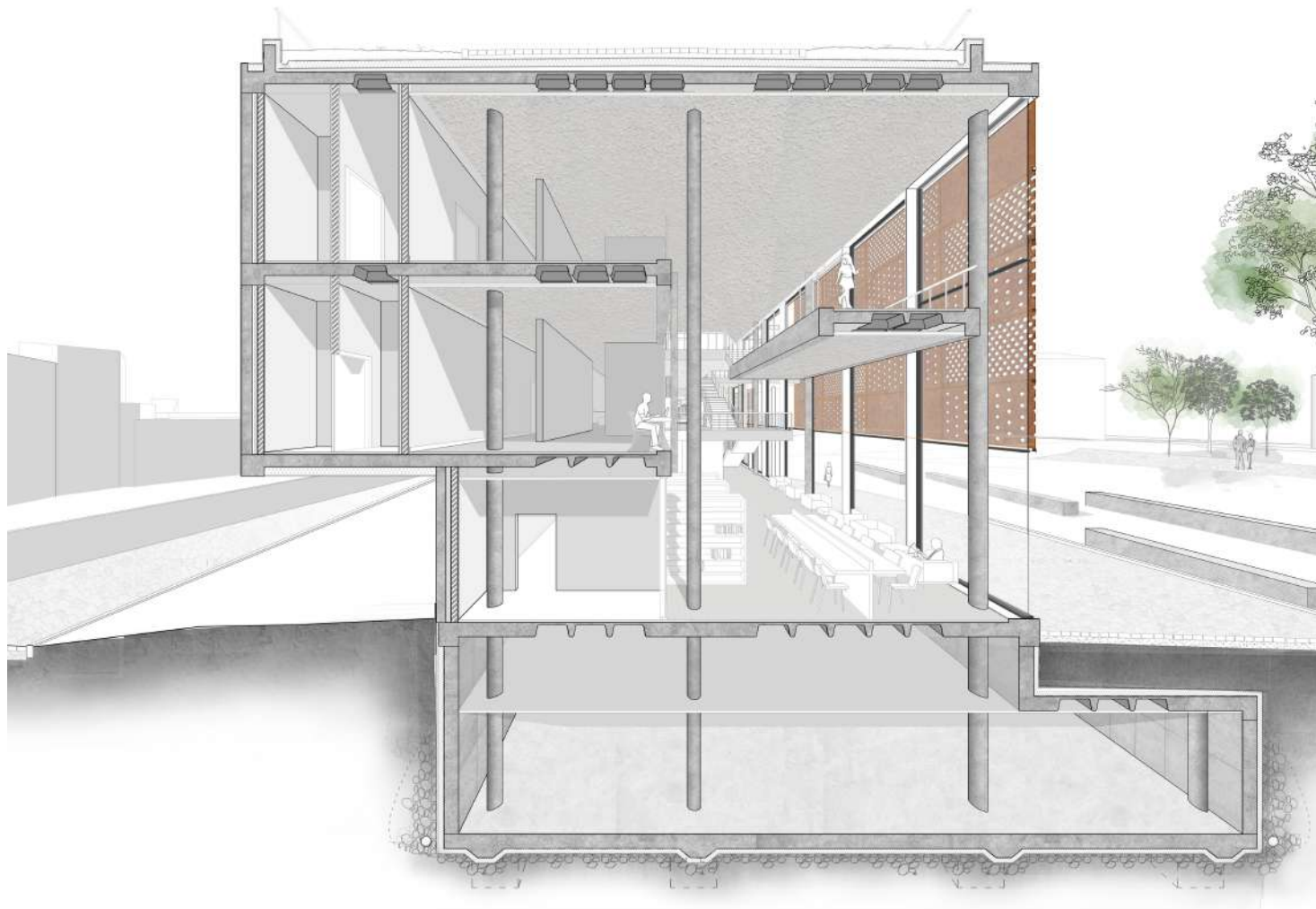


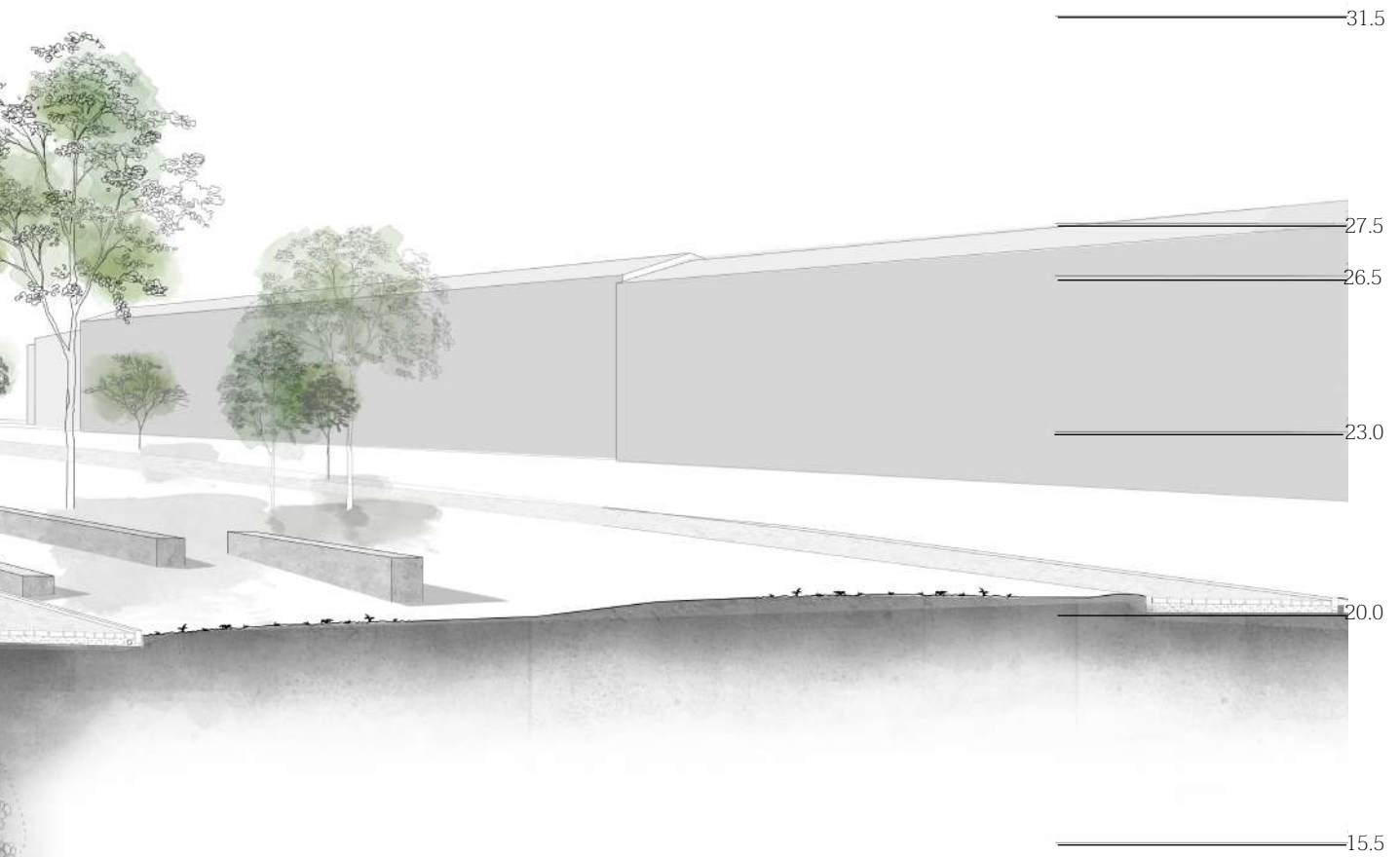
Alçado Sudeste | 1:500





Corte A - A'





Corte C - C'

