

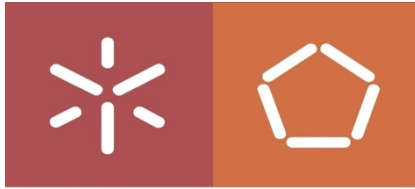


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Tatiana Rafaela Marques Silva Azevedo

## **O papel de estruturas verdes urbanas na mitigação do ruído**

Outubro de 2022



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Tatiana Rafaela Marques Silva Azevedo

## **O papel de estruturas verdes urbanas na mitigação do ruído**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Urbana

Trabalho realizado sob a orientação de

**Professora Doutora Lígia M. M. O. T. Silva**

Outubro de 2022

## **Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 3**

### **Declaração a incluir na Tese de Doutoramento (ou equivalente) ou no trabalho de Mestrado**

#### **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença [abaixo](#) indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

#### **Licença concedida aos utilizadores deste trabalho**



**Atribuição-NãoComercial**  
**CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação de mestrado contou com importantes incentivos e suporte de pessoas a quem não posso deixar de agradecer.

À Professora Doutora Lígia Torres Silva, pela sua orientação, apoio e pela sua disponibilidade, por me ter transmitido e ensinado cada vez mais ao longo da realização deste trabalho, e por me direcionar sempre no melhor sentido.

Ao Rui Vilela por ter colaborado numa parte crucial deste trabalho, sendo esta a parte prática.

Aos meus pais e todos os familiares pelo apoio e por me auxiliarem quando necessário.

Aos meus colegas, Leida Tavares, Fredson Brito por me incentivarem sempre que necessário. À Catarina Silva que me auxilia sempre que necessário e à Alexandra Rodrigues que me apoia e tem sido um sinónimo de companheirismo e cooperação, ao longo deste caminho que vamos traçando lado a lado.

Aos docentes e à Universidade do Minho que possibilitam que os seus alunos tenham a melhor educação, formação e desenvolvimento e a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, fizeram parte deste trabalho.



**Despacho RT - 31 /2019 - Anexo 4**  
**Declaração a incluir na Tese de Doutoramento (ou equivalente) ou no trabalho de**  
**Mestrado**

**DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## Resumo

Nas últimas décadas, temos assistido a um acelerado desenvolvimento das cidades. Este desenvolvimento acarreta uma consequência: o ruído. O ruído torna-se uma presença constante no cotidiano da população e acarreta consequências negativas para este meio, sendo portanto, uma questão de alerta. É necessária, então, investigação para solucionar este problema. As estruturas verdes surgem como parte da solução desta questão, uma vez que possuem características de absorção do ruído, podendo ser utilizadas como ferramenta de mitigação do mesmo nas áreas urbanas.

É precisamente nesta questão que a presente dissertação se foca. Para além de reunir informação e conhecimento apreendido e investigado até então, o objetivo principal é compreender e determinar a capacidade de absorção acústica destas estruturas, prever os seus benefícios e saber qual a sua eficácia para reduzir o ruído da cidade. Com isto, espera-se que estas estruturas sejam mais empregues de forma eficiente para que melhorem a qualidade do ambiente urbano e a qualidade de vida da população.

O objetivo principal do trabalho é o estudo dos fenómenos ruído e a avaliação do impacto de estruturas verdes urbanas - muros verdes, na mitigação do ruído urbano. Foram selecionados quatro locais, com e sem vegetação, na cidade de Guimarães. Com recurso a dois sonómetros foram efetuadas medições síncronas de ruído ambiente nos quatro locais e analisado o impacto da vegetação na redução do ruído e no espectro de frequências resultante. Os valores obtidos indicam que houve diminuição dos níveis de ruído, na ordem de 1 dBA e de 0,5 dBA em cada um dos locais avaliados. Relativamente ao espectro de frequências concluiu-se uma redução mais acentuada nas baixas frequências, particularmente nas bandas 31,5 Hz e 125 Hz no primeiro local e no segundo local observou-se uma maior redução nas altas frequências 8 Hz.

Desde logo denota-se o importante papel que as estruturas verdes desempenham na cidade, uma vez que além dos benefícios vários (estéticos, conforto urbano) é provado que diminuem os níveis de pressão sonora, mesmo quando estão já implementadas, isto é, não foram instaladas com o objetivo de mitigar o ruído. A questão que fica é que, se as vegetações fossem realmente implementadas com o intuito de mitigação do ruído, com características adequadas para este fim, as capacidades da mesma seriam melhoradas e, por conseguinte, a qualidade de vida cidadina aumentaria.

Palavras-chave: vegetação; ruído; mitigação; jardins verticais; estruturas verdes urbanas

## **Abstract**

In recent decades, we have witnessed an accelerated development of cities. This development has a consequence: noise. Noise becomes a constant presence in the daily life of the population and has negative consequences for the environment, being therefore a matter of alert. On that account, investigation is needed to solve this problem. Green structures emerge as part of the solution to this issue, since they have noise absorption characteristics, and can be used as a tool to mitigate noise in urban areas.

It is precisely on this issue that this dissertation focuses. In addition to gathering information and knowledge learned and investigated so far, the purpose is to understand and determine the acoustic absorption capacity of these structures, predict their benefits, and know how effective they are in reducing city noise. With this, it is expected that these structures will be used more efficiently to improve the quality of the urban environment and the quality of life of the population.

The main goal of the work is the study of noise phenomenon and the evaluation of the impact of urban green structures – green walls, in the mitigation of urban noise. Four locations were selected, with and without vegetation, located in the city of Guimarães. Using two sound-level meters, two synchronous measurements of ambient noise were made, out at the four locations and it was analyzed the impact of vegetation on noise reduction and the resulting frequency spectrum. The values obtained indicate that there was a decrease in noise levels, in the order of 1 dBA and 0.5 dBA in each of the evaluated locations. Regarding the frequency spectrum, there was more accentuated reduction in the low frequencies, particularly in the 31.5 Hz and 125 Hz bands in the first place and in the second place there was a greater reduction in the high frequencies 8 Hz.

From the outset, the important role that green structures play in the city is evident, since in addition to the various benefits (aesthetics, urban comfort) it is proven that they reduce sound pressure levels, even when they are already implemented, they have not been installed with the aim of mitigating noise. The question that remains is that, if the vegetation were really implemented with the goal of mitigating noise, with suitable characteristics for this purpose, its capabilities would be improved and, therefore, the quality of life in the city would improve.

Keywords: vegetation; noise; mitigation; vertical gardens; green functional structures

## **Lista de Siglas**

OMS - Organização Mundial de Saúde

VGS (“Vertical Greenery Systems”) - Sistemas de Jardins Verticais

LWS (“Living Wall Systems”) - Sistema de Paredes Vivas

HDPE (“High Density Polyethylene”) - Polietileno de Alta Densidade

ICU - Ilha de Calor Urbano

# Índice

AGRADECIMENTOS .....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de Siglas .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. <i>Enquadramento</i> .....	1
1.2. <i>Objetivos</i> .....	4
2. Estruturas verdes urbanas .....	5
2.1. <i>Estruturas verdes urbanas ao longo do tempo</i> .....	10
2.2. <i>Definição de jardim vertical</i> .....	13
2.3. <i>Sistemas de jardins verticais</i> .....	15
2.4. <i>Fachadas verdes</i> .....	17
.....	19
2.4.1. <i>Fachadas verdes diretas</i> .....	19
2.4.2. <i>Fachadas verdes indiretas</i> .....	20
2.5. <i>Paredes vivas</i> .....	20
2.6. <i>Manutenção</i> .....	22
2.7. <i>Análise custo-benefício</i> .....	23
2.8. <i>O efeito dos obstáculos no ruído urbano</i> .....	27
2.9. <i>O efeito das barreiras verdes sobre o ruído</i> .....	29
2.10. <i>A cidade biofílica</i> .....	34
2.11. <i>Eficiência acústica da parede verde de Cergy Pointoise</i> .....	36
3. Documentos normativos para a avaliação da absorção acústica .....	38
3.1. <i>ISO 13472-2 - Acústica – Medições in situ das propriedades de absorção sonora por parte da superfície das estradas - Parte 2: Método pontual para superfícies reflexivas</i> .....	39
3.1.1. <i>Definições</i> .....	40

3.2.	<i>NP 10847:2021 - Determinação in situ da perda por inserção de barreiras acústicas exteriores de qualquer tipo</i>	41
3.2.1.	Definições	43
3.2.2.	Método de medição direto	44
3.2.3.	Método de medição indireto	45
3.2.4.	Método de medição	45
3.2.5.	Determinação da perda por inserção de uma barreira	47
4.	Caracterização e avaliação do ruído ambiente	49
4.1.	<i>Sonómetro e dosímetro</i>	49
4.2.	<i>Avaliação do ruído recorrendo a modelos de previsão do ruído</i>	51
5.	Metodologia	53
6.	Avaliação do impacto de muros verdes no ruído ambiente. Estudo de caso na cidade de Guimarães	53
7.	Resultados obtidos e discussão	58
8.	Conclusões e trabalhos futuros	65
	Referências Bibliográficas	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - TurfHouse na Islândia. (Retirado de Hurstwic. The Houses in the Viking Age.).....	11
Figura 2 – Exemplo de uma TurfHouse moderna. Uma casa com arquitetura contemporânea, com adaptação de jardim. (Retirado de CNN style. Créditos: Rafael Pinho) .....	11
Figura 3 - Fachada verde direta (a), fachada verde indireta (b) e fachada verde indireta combinada com caixas de plantas (c) (Perini, 2012). .....	19
Figura 4 - Fachada verde direta (a), fachada verde indireta (b) e fachada verde indireta combinada com caixas de plantas (c) (Perini, 2012). .....	19
Figura 5 – Paredes vivas em caixas de plantas (d), parede viva em substrato de espuma (e), parede viva em camadas de feltro (f) (Perini, 2012) .....	21
Figura 6 - Paredes vivas em caixas de plantas (d), parede viva em substrato de espuma (e), parede viva em camadas de feltro (f) (Perini, 2012) .....	22
Figura 7 - Sistema vertical verde, na segunda imagem com 43%, na terceira imagem com 71% e na quarta imagem com 100% de cobertura (Wong et al. 2010).....	32
Figura 8 - Elementos estruturais de uma parede vegetal (Lunain, 2013) .....	37
Figura 9 - Tubo de impedância. (Hanson et al. 2004) .....	39
Figura 10 – Sonómetro devidamente equipado.....	50
Figura 11 – Imagem mais pormenorizada do equipamento .....	50
Figura 12 – Dosímetro (Filho et al. (2018).....	51
Figura 13 – Imagem de satélite da Rua Padre António Caldas retirada do Google Maps .....	54
Figura 14 – Imagem de satélite da Rua Dr. Ricardo Marques retirada do Google Maps.....	55
Figura 15 - Sonómetros devidamente equipados na Rua Padre António Caldas. (a) com vegetação, (b) sem vegetação.....	56
Figura 16 - Sonómetros devidamente equipados na Rua Dr. Ricardo Marques. (a) com vegetação, (b) sem vegetação.....	57
Figura 17 - Análise espectral do ruído, primeira medição, Rua Padre António Caldas, sem vegetação(a) e com vegetação (b) .....	62

Figura 18 - Análise espectral do ruído, segunda medição, Rua Padre António Caldas, sem vegetação(a) e com vegetação (b) .....	62
Figura 19 - Análise espectral do ruído, primeira medição, Rua Dr. Ricardo Marques, sem vegetação(a) e com vegetação (b) .....	63
Figura 20 - Análise espectral do ruído, segunda medição, Rua Dr. Ricardo Marques, sem vegetação(a) e com vegetação (b) .....	63



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Benefícios para a envolvente de acordo com o tipo de Jardim Vertical (Adaptado de Gerhardt & Vale, 2010 por: Raposo (2015)) .....	7
Tabela 2 - Tipos de jardins verticais e os seus diferentes sistemas (Adaptado de Bruno, 2018) .....	16
Tabela 3 - Custos relativamente à instalação de jardins verticais (Perini et al. 2013) .....	25
Tabela 4 - Paredes verdes e os potenciais benefícios quanto ao ruído (Adaptado de Hadba (2017)). ..	34
Tabela 5 - Durações e dimensões das amostras sugeridas (NP10847:2021) .....	46
Tabela 6 - Resultados das medições do ruído na Rua Padre António Caldas, sem vegetação .....	58
Tabela 7 - Resultados das medições do ruído na Rua Padre António Caldas, com vegetação .....	58
Tabela 8 - Resultados das medições do ruído na Rua Dr. Ricardo Marques, sem vegetação.....	59
Tabela 9 - Resultados das medições do ruído na Rua Dr. Ricardo Marques, com vegetação .....	59
Tabela 10 - Resultados das medições do ruído nos pontos da Rua Padre António Caldas .....	61
Tabela 11 - Resultados das medições do ruído nos pontos da Rua Dr. Ricardo Marques .....	61

## **1. Introdução**

O tema desta dissertação denomina-se por “O papel das estruturas verdes urbanas na mitigação do ruído” e versa o estudo das estruturas verdes, e a determinação do seu impacto no ruído das áreas urbanas, mais concretamente, se estas têm a capacidade de mitigar o ruído nas cidades. O conhecimento e a investigação feita sobre os jardins verticais e as suas funções nomeadamente no ruído é um tema ainda muito pouco estudado, e relativamente inovador, pelo que é relevante o alargamento do conhecimento relativamente ao mesmo. Pretendemos perceber até que ponto estas estruturas atuam como forma de reduzir o ruído, ou seja, perceber o papel da vegetação na mitigação do ruído, diminuindo por efeito da redução da reflexão, o ruído presente nas áreas urbanas.

A vegetação já tem um papel importante na área urbana, por vários motivos, nomeadamente pela sua capacidade de absorção de poluentes atmosféricos e por conseguinte, a mitigação da poluição atmosférica, captação de CO<sub>2</sub>, o efeito na redução da Ilha de Calor Urbano (ICU) e a redução do ruído por efeito de absorção acústica. Este estudo pretende determinar de que modo as estruturas verdes podem contribuir para dar resposta à problemática do ruído das cidades e de que forma se pode solucionar esta questão. Considerar as características das estruturas verdes e sabendo exatamente como poderão ser utilizadas para maximizarem as suas propriedades para a mitigação do ruído, pode resolver esta questão. Isto facilita a que, no futuro, se torne possível e seja eficaz, utilizar sistemas de estruturas verdes como parte da solução para o problema do ruído das cidades, através da implementação dos mesmos, onde são necessários e de forma informada, sabendo quais os seus efeitos e os seus benefícios.

### **1.1. Enquadramento**

Assistimos a um acelerado desenvolvimento e crescimento das cidades. Isto é um efeito da procura por uma melhor qualidade de vida, ou seja, efeitos do êxodo rural, e do crescimento da população, fenómenos que, fazem com que a população das áreas urbanas aumente. As áreas urbanas oferecendo maior nível de equipamentos e infraestruturas, conseguem oferecer à população aquilo que procuram. Estas ficam quase totalmente ocupadas e tornam-se um problema, principalmente a nível de ruído. Ruído este que está associado a práticas do quotidiano da sociedade, como o tráfego e a ação de diferentes estabelecimentos e indústrias ou música, como referido anteriormente. Todos estes sons, tanto os artificiais como até, os naturais, produzem uma paisagem sonora complexa, o que provoca incómodo e outras complicações como por exemplo, na saúde da população. Adicionando a este crescente aumento da poluição sonora nas áreas urbanas, muitas vezes as formas urbanas não amparam este comportamento. Os edifícios acabam por refletir, diversas vezes, o ruído, fazendo com que este se dissipe muito mais lentamente, ou até mesmo aumentando o mesmo.

A ligação entre o ruído e algumas doenças tornou-se mais frequente, e posto isto é cada vez mais necessário arranjar soluções para este problema. À medida que há mais indícios ligados entre o

ruído ambiental, distúrbios do sono e doenças cardiovasculares, por exemplo, verificou-se que a exposição ao ruído provoca ativação fisiológica incluindo aumento da frequência cardíaca e pressão arterial, vasoconstrição periférica e, portanto, aumento da resistência vascular periférica (Vallet *et al.* 1983). Além disso, um estudo realizado em 12 mulheres e 12 homens submetidos a diferentes níveis de ruído observou que ansiedade e dificuldade em adormecer foram observadas nas pessoas que foram submetidas a níveis de ruído de 39, 44 e 50 dB(A) (Marks & Griefahn, 2007).

Aqui entra o papel das estruturas de isolamento acústico, e das estruturas verdes, pois, em ruas bastante movimentadas, estas estruturas podem fazer a diferença, absorvendo e atenuando o ruído. É incumbido ao Estado e às autarquias locais, assim como a outras entidades públicas, que tomem medidas necessárias para o controlo, diminuição ou mitigação do ruído resultantes de atividades realizadas na cidade. Este controlo do ruído tem como objetivo aumentar o conforto dos habitantes e diminuir o impacto e dano que o mesmo pode causar. Atualmente, nas áreas urbanas, já se implementam formas de diminuição de ruído, por exemplo, usam-se materiais que isolam acusticamente as partes interiores, utilizam-se materiais duros, de grande massa, como o aço, o vidro e outros, que realmente diminuem o ruído para o interior das construções. Porém esta característica não é favorável para os espaços exteriores, nestes o ruído forma-se e não tem nenhuma superfície por onde consiga escapar, ficando bloqueado nesse espaço, a isto chamamos de reverberação alta. Reverberação acontece quando o som reflete, e é alta quando o som fica mais potente, consequência das formas e materiais das superfícies. Como não há existência de uma superfície absorvente, que seja porosa e de massa reduzida, o ruído embate nas superfícies isolantes e fica retido.

Compreendemos que para a diminuição de ruído de forma mais eficiente, a solução seriam os revestimentos verdes. O ideal seria recorrer cada vez mais às estruturas verdes, em vez de colocar outro tipo de superfícies de isolamento acústico. Estas estruturas teriam um grande papel na qualidade do ambiente urbano. Tendo em conta que as áreas verdes têm sempre impacto na sociedade, devido à sua estética, servem muitas vezes como local de amparo e oferecem à população uma sensação de tranquilidade no meio da azáfama da cidade. Uma estrutura verde funcional, para além de oferecer essa impressão de serenidade à população, tem também o benefício da diminuição do ruído.

Uma estrutura verde urbana apresenta e desenvolve-se com base em várias dimensões e propósitos, tem valor ecológico, social e também são insubstituíveis numa boa composição urbana. Abordamos neste estudo que as estruturas verdes são essenciais para diminuir o ruído excessivo que atualmente sentimos e percebemos nas áreas urbanas. Estamos já habituados a ver vegetação nas cidades, porém, na maioria dos casos, não se utiliza este sistema de forma que cumpram algumas funções, ou pelo menos não com a função de diminuir o ruído, muitas vezes são apenas implementados, por questões estéticas, não estando então, a ser utilizados de modo que cumpram outras funções. No entanto, esta tecnologia pode ser integrada com algumas finalidades, para ter uma ótima performance

a diversos níveis, como na redução do ruído, e este pode ser um sistema com múltiplos benefícios. Quando são projetados para que cumpram certas funções integralmente, têm uma estratégia, não só estética, como sustentável, para a área urbana e para os edifícios em questão.

Um ruído é um determinado som que devido às suas características é desagradável para o ser humano. A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que o ruído de fundo não exceda os 30 decibel e os ruídos pontuais não deveriam exceder os 45 decibel. O ruído produzido na cidade é composto por várias fontes, advém principalmente do tráfego rodoviário, das obras de construção, do comércio, da indústria entre outros. Estes sons, dependendo das suas características, podem ser prejudiciais para a saúde, conseguem provocar danos físicos (exemplo: audição), fisiológicos (exemplo: ritmo cardíaco) e/ou psicológicos (exemplos: stress, ansiedade). Os níveis de ruído são diferenciados na cidade e o território, de acordo com o seu uso, é acusticamente classificado em zonas sensíveis e zonas mistas. Nas zonas sensíveis onde estão escolas e habitações não deve haver fontes de ruído permanentes. De acordo com o Regulamento Geral do Ruído, perto de uma zona sensível ou numa zona mista, as atividades ruidosas devem respeitar os critérios de exposição máxima e de incomodidade. Quando estes níveis são ultrapassados, isto é, em zonas de conflito acústico, o município deverá adotar planos que controlem e reduzam o ruído ambiente (Plano Municipal de Redução de Ruído).

O ruído pode ser reduzido adotando um conjunto de medidas, através de três formas: atuando na fonte; nos recetores; ou na propagação. Este estudo centra-se na atenuação da propagação, isto é, no espaço que permeia a fonte e o recetor. Incluem-se neste tipo de atuação a implementação de obstáculos/barreiras, que bloqueiem o ruído emitido pela fonte, podendo estes obstáculos ser diversos, como, barreiras acústicas, túneis, e ainda a utilização de vegetação.

Um muro ou uma fachada lisa de betão originam a reflexão, o que faz com que o ruído permaneça nas ruas e prolongue a sua propagação. Pelo contrário, um muro verde tem a vantagem de absorção acústica devido às suas características, assim a absorção faz com que o ruído diminua mais eficazmente. A presença de vegetação no meio urbano oferece vastos impactos favoráveis e sendo um deles a redução do ruído, a utilização destes sistemas oferece diretamente benefícios, particularmente para a população que ficaria protegida do ruído e todos os efeitos prejudiciais que destes advém.

Esta dissertação centra-se no estudo das estruturas verdes, particularmente dos jardins verticais/muros verdes, e na utilização destes como, meio para redução de ruído em meio urbano. A dissertação iniciará com uma primeira abordagem sobre o que são estas estruturas, e como se classificam, dado existirem várias técnicas para a sua construção e manutenção. Segue com uma análise destes sistemas e do seu impacto no ruído, e posteriormente, é feita uma avaliação da absorção de ruído por parte destes sistemas, recorrendo a um estudo de caso.

Posto isto, este documento divide-se em oito capítulos. Inicia com a introdução que descreve o enquadramento e objetivos do tema da dissertação. O segundo capítulo, faz a descrição do estado da arte sobre as estruturas verdes urbanas e o papel destas face ao ruído urbano e termina com dois subcapítulos um deles sobre as cidades biofilicas e outro sobre um estudo ocorrido em Cergy Pointoise em França que avalia as características de absorção de uma estrutura verde. Seguidamente, o terceiro capítulo, expõe os documentos normativos para a avaliação da absorção acústica. O quarto capítulo explica os métodos que desempenham a avaliação do comportamento de uma barreira vegetal quanto à absorção do ruído. O quinto capítulo descreve a metodologia utilizada no estudo de caso realizado nesta dissertação, que é enquadrado no sexto capítulo. O sétimo capítulo revela resultados e discussão relacionados com o estudo de caso em questão. Por fim, o oitavo capítulo que finaliza esta dissertação, inclui as conclusões, as limitações do estudo e indicações e aberturas para investigação futura.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo desta dissertação é qualificar o papel das estruturas verdes, nomeadamente de muros verdes, no que diz respeito à sua capacidade em mitigar o ruído da cidade, recorrendo à procura e estudo de alargada informação sobre o tema, e também, a medições realizadas *in situ* por sonómetros para quantificar a absorção acústica por parte destas estruturas.

Atualmente, a poluição sonora tem adquirido numerosa expressão nas preocupações ambientais e este estudo irá contribuir para um conhecimento mais alargado sobre, qual o papel das estruturas verdes na absorção acústica e pretende-se determinar qual a capacidade de absorção acústica destas estruturas e saber qual a eficácia das mesmas para reduzir o ruído na cidade.

O pretendido por este estudo é prever quais os benefícios das estruturas verdes e fornecer um leque alargado de informação adequada para que estas estruturas sejam mais empregues e possam ser utilizadas de forma eficiente para que melhorem a qualidade do ambiente da cidade e assim consequentemente a qualidade de vida e conforto da população.

## 2. Estruturas verdes urbanas

Este capítulo aborda e define o conceito de estruturas verdes e outros subtemas do mesmo, considerados essenciais e necessários para a elaboração e compreensão da investigação.

As estruturas verdes são um conceito amplo, porém, o que as define, primordialmente, é que são sistemas de áreas verdes multifuncionais introduzidos numa cidade. A vegetação que cresce arbitrariamente e naturalmente em sítios aleatórios, pode ser vista como material de construção e auxiliar em aspetos das áreas urbanas que precisam de reforço e de estabelecimento de soluções. Atualmente as soluções que se procuram, são soluções sustentáveis e a vegetação ganha assim distinção, e começa a ser utilizada como material de construção, isto pelas características que possui, pela variedade e pelas vastas possibilidades e funcionalidades.

Estrutura verde urbana pode ser definida como um sistema de espaços de carácter socioecológico, existente nas cidades, fundamental para o equilíbrio e desenvolvimento urbano sustentável, para a qualidade de vida e bem-estar das populações. Constitui uma estrutura física que faz parte integral das áreas urbanas, a par com a estrutura edificada, estrutura viária ou infraestruturas técnicas, que, juntamente com a população que as habita, forma o complexo sistema urbano (Quintas, 2014).

A estrutura verde urbana não é apenas um conjunto de elementos de carácter natural e cultural, mas deve ser entendida sob uma perspetiva integradora e holística, como um sistema uno, complexo e articulado caracterizado tanto pela sua forma como função (Van Herzele & Wiedemann, 2003).

As estruturas verdes incluem árvores, arbustos, muros verdes, e coberturas verdes, que tenham alguma função. Em geral, todas tem a função de oferecer uma porção de aspeto natural às cidades, conciliando a parte urbana com a natureza e assim oferecer à população uma sensação de bem-estar e harmonia. Porém, com o desenvolvimento de novas técnicas, começamos a compreender como beneficiamos mais de cada estrutura verde e implantamos diferentes estruturas verdes em diferentes locais, conforme mais se adequa e como conduzirá para mais benefícios para o meio urbano.

Sendo uma designação relativamente recente, a “infraestrutura verde” tem uma longa história de antecedentes, enraizada nas múltiplas propostas de ordenamento das áreas verdes que, de forma mais isolada ou sistémica, se foram desenvolvendo desde a Revolução Industrial de forma a minorar os problemas ambientais e sociais dos espaços urbanos (Madureira, 2012).

De entre variadas definições de infraestrutura verde encontradas na literatura (Ahern, 2007; Benedict & McMahon, 2002; Hough, 2001; Sandström, 2002 e 2006; Walmsley, 1995 e 2006; Turner, 2006; Tzoulas *et al.* 2007) emergem alguns elementos que, no seu conjunto, ajudam a clarificar as ideias-

chave deste conceito: o desafio da continuidade/conectividade, a oportunidade da multifuncionalidade e a necessidade de perspetivar o sistema de áreas verdes urbanas como uma infraestrutura na cidade alargada contemporânea (Madureira, 2012).

Como referido anteriormente, a vegetação para além de conceder valor estético à cidade, melhora outros aspetos e condições urbanas. Tem o benefício de normalizar a qualidade do ar, absorvendo os poluentes. Poluentes que podem ser absorvidos devido às espécies, às formas, às características de determinadas estruturas. Diminuem o efeito ICU e amenizam temperaturas. Sendo estas apenas algumas das capacidades da vegetação quando utilizada numa cidade. O benefício que se pretende aprofundar neste estudo é um destes aspetos, a capacidade de redução do ruído.

É imprescindível ter em conta, vários aspetos, como a geometria da área urbana, as árvores a plantar, e outros vários aspetos que em consolidação uns com os outros ou isolados, podem auxiliar no cumprimento dos objetivos que a cidade deve procurar para favorecer a qualidade do ar. Atualmente, é cada vez mais notável que estas estruturas verdes para além de acentuarem melhorias em vários aspetos do quotidiano, moderam o ruído melhorando também assim a paisagem sonora.

A vegetação atua como corpos porosos que influenciam os padrões de dispersão dos poluentes atmosféricos, criando uma barreira entre as fontes e os recetores poluentes, além de auxiliar na redução das toxinas presentes no ar. Além de melhorar a qualidade do ar, a vegetação pode fornecer proteção contra a radiação solar, reduzir o efeito de ilha de calor sentido nos centros e aumentar o conforto térmico nas cidades (Martins *et al.* 2021). Ainda segundo os mesmos autores, o planeamento de uma cidade deve aumentar as áreas verdes, com determinadas plantas, principalmente em zonas com grandes concentrações de tráfego. Visto que os locais que possuem mais ruído, muitas vezes é onde também observamos mais poluição, devemos escolher espécies de plantas resistentes a esta poluição.

Os revestimentos verdes absorvem o ruído ao invés de efetuarem um isolamento do som, o que seria benéfico a vários níveis. Com este sistema, os benefícios segundo Raposo (2015) e Farr (2013), seriam vários, os fundamentais são, que, o ruído seria atenuado, a estética seria mais agradável, haveria uma redução de custos em materiais de isolamento, e o exterior do edifício teria uma proteção. Isto, também, faria aumentar a área verde urbana, o que valoriza a cidade. Assistiríamos ao aumento da biodiversidade e à melhoria da qualidade do ar. O efeito da ICU seria inferior e a retenção e filtragem de águas pluviais também iria favorecer. Por outro lado, os custos de investimento inicial seriam elevados, assim como os custos de manutenção e seria necessária mão de obra especializada para esta manutenção.

Segundo Raposo (2015), ainda é difícil perceber exatamente qual o custo/benefício dos jardins verticais, devido à ainda permanente dificuldade em distinguir vantagens e desvantagens. Alguns benefícios são partilhados por quase todos os tipos de Jardins Verticais, designados por “benefícios comuns”, enquanto

outros são função do objetivo de determinado design/fornecedor, designados “benefícios específicos”. Existe ainda outra categorização dos benefícios dos jardins verticais, dividindo-os em benefícios privados e públicos, visto que alguns dos benefícios são para o próprio edifício e seus ocupantes, enquanto outros são para a envolvente urbana e respetivos ocupantes (Raposo, 2015).

A tabela 1 indica de forma direta, os benefícios e a influência dos jardins verticais em relação a sua área abrangente.

Tabela 1 - Benefícios para a envolvente de acordo com o tipo de Jardim Vertical (Adaptado de Gerhardt & Vale, 2010 por: Raposo (2015))

	<b>Fachada Verde</b>		<b>Parede Viva</b>	
	Folha permanente	Folha caduca	Hidropónico	À base de Substrato
<b>Efeito “Ilha de calor”</b>	++	++	+++	++
<b>Retenção de água</b>	+	+	+++	+++
<b>Isolamento térmico (Inverno)</b>	+	-	++	++
<b>Isolamento térmico (Verão)</b>	++	++	++	++
<b>Absorção sonora</b>	+	+	++	+++
<b>Vida selvagem</b>	++	++	++	+++
<b>Absorção de poeiras</b>	+	+	++	++

Legenda: - Não influencia + pequena influência ++ Influência significativa +++ Forte influência



Segundo Raposo (2015), e como já referido as estruturas verdes têm potencial para provocar uma mudança ambiental positiva em zonas urbanas densas. Segundo Ottelé (2011), ao nível da absorção sonora, assim como outros fatores, é necessário que os fatores de design, densidade de folhagem e condições de local e escala do projeto sejam devidamente calculados para obtermos benefícios.

Segundo Ottelé (2011) e Raposo (2015) os jardins verticais contribuem para a redução dos níveis de som que são transmitidos ou refletidos através da parede. Os fatores que influenciam a redução de ruído são a profundidade do substrato, os materiais utilizados como componentes estruturais do sistema, e a cobertura global. Segundo os mesmos autores os benefícios que daqui ocorrem são o isolamento contra ruídos e a redução de reflexões sonoras.

Lacasta *et al.* (2016), fez um estudo, com uma parede modular de vegetação, que foi caracterizada acusticamente para avaliar o potencial desempenho como barreira de ruído rodoviário. Primeiro, foram feitas medições *in situ* dos coeficientes de reflexão e absorção do som, usando um protótipo experimental. Os resultados para a parede coberta de vegetação e uma parede de referência sem vegetação foram comparados, revelando uma clara melhoria quando a vegetação está presente. Os coeficientes de absorção medidos *in situ* têm um valor médio de aproximadamente 0,7 dB. Em geral, os valores para todas as faixas de frequência são superiores aos obtidos anteriormente em medições de laboratório (Azkorra *et al.* 2015), o que pode ser atribuído ao fato de que nestas medições anteriores, a vegetação não estava tão desenvolvida como o do protótipo de barreira utilizado neste estudo. De facto, estas análises reforçam a ideia de que medições *in situ* deste género são uma ferramenta valiosa para a avaliação realista de estruturas verdes, que apresentam mudanças significativas ao longo do ano, as quais não podem ser convenientemente avaliadas em laboratório.

No estudo realizado por Lacasta *et al.* (2016), os resultados obtidos quanto à absorção de ruído por parte da parede coberta de vegetação, foram considerados razoáveis, observando os tipos de substrato e vegetação utilizados. Os valores foram superiores aos obtidos por outros autores com solo de substrato de alta densidade, mas inferiores aos obtidos para solo de substrato de baixa densidade (Horoshenkov *et al.* 2013). Além disso, os valores também foram semelhantes ou superiores aos obtidos por outros autores para concretos porosos desenvolvidos para barreiras acústicas rodoviárias que incorporam resíduos reciclados, como cinzas de carvão (Arenas *et al.* 2013) e betão (Park *et al.* 2005), como agregados de engrossamento. Ainda segundo Lacasta *et al.* (2016), para efetuar alguns estudos, existe um software chamado CadnaA, que prevê a eficácia das propostas de paredes cobertas de vegetação, o ruído é efetivamente diminuído quando existe vegetação, quando obedecendo a alguns fatores, como por exemplo, as dimensões. Lacasta *et al.* (2016), ainda refere que, os resultados referentes a este tipo de medições podem sempre estar limitados, isto porque, a vegetação cresce ao longo do ano e pode sempre ter efeitos nos resultados das medições.

Wong *et al.* (2010), avaliaram os impactos da perda de inserção acústica de vários sistemas de vegetação vertical de paredes de edifícios. Eles destacaram que a perda de inserção apresenta uma atenuação mais forte nas frequências médias por causa do efeito de absorção do substrato (diminuição em torno de 5 a 10 dB), e uma menor atenuação em frequências mais altas (redução de 2 a 3.9 dB) devido ao efeito de dispersão da folhagem verde. A segunda parte do estudo que foi realizado numa sala reverberante, confirmou que o coeficiente de absorção aumenta em frequências mais altas, bem como com maior cobertura de vegetação (Attal *et al.* 2020).

Estudos de isolamento de acordo com a ISO-140-5 foram realizados numa estrutura modular de parede verde e numa fachada verde dupla. Os autores provaram que uma camada fina melhora o isolamento acústico de 1 dB no caso de ruído de tráfego, enquanto uma fonte de ruído rosa aumenta de 3 dB para uma fachada verde. Por abordagem numérica, Van Renterghem *et al.* (2013), avaliaram o efeito do tráfego viário na tranquilidade dos ocupantes através de um edifício de parede verde. Três simulações foram consideradas: telhados verdes, paredes verdes e barreiras acústicas de baixa altura com vegetação posicionadas próximas às bordas do telhado. Eles concluíram que os efeitos de vegetação de parede dependem fortemente dos pressupostos do material escolhido (Attal *et al.* 2020).

Para escolher a espécie é fundamental conhecer a tolerância à poluição do ar no ambiente urbano, mantendo-se saudável e eficiente na sua mitigação. Também é importante conhecer as suas características, como índice de área foliar, área foliar total e altura são consideradas fundamentais para determinar a capacidade total de remoção de poluentes atmosféricos. Plantas com folhas persistentes são preferíveis porque a sua ação de filtragem é contínua ao longo do tempo. Não devem ser utilizadas espécies invasivas, bem como espécies venenosas ou que possam causar reações alérgicas. A introdução de espécies não indígenas no ecossistema pode levar à predação, competição com espécies nativas e a transmissão de patógenos ou parasitas, afetando seriamente a diversidade biológica, as atividades econômicas e a saúde pública. Também é imprescindível estar atento à segurança viária, pois a vegetação densa pode causar perda de visibilidade ou criar obstáculos à circulação de motoristas, ciclistas e pedestres (Martins *et al.* 2021).

Existem inúmeros métodos para medir ruído (ou pressão sonora), cada qual com suas características e aplicabilidades (Specht, 2009). O desenvolvimento das capacidades de memória e cálculo dos sistemas informáticos, a par da evolução das técnicas de modelação da emissão e propagação sonora, permitiram o aparecimento, nos últimos anos, de programas informáticos capazes de modelar, com elevada precisão e relativa rapidez, as mais complexas situações de propagação de ruído. A apresentação de resultados é normalmente obtida sob a forma de linhas isófonas e/ou áreas coloridas correspondentes a determinada classe de valores de ruído (medido em  $L_{eq}$  e expresso em dB(A)) (Silva, 2008).

Existem no mercado vários aparelhos que permitem realizar medições de som/ruído exterior. Entre os aparelhos de medição acústica (do som aéreo) distinguem-se aqueles que medem pressões sonoras que são os sonómetros e dosímetros e aqueles que medem intensidades sonoras que são as sondas de intensidade (Silva, 2008). Os sonómetros e os fonómetros são os equipamentos mais utilizados.

## **2.1. Estruturas verdes urbanas ao longo do tempo**

A estrutura verde não é uma estratégia nova, no entanto, a forma como é criada e implementada tende a ser cada vez mais inovadora. Encontra-se intimamente relacionada com a relação entre o território e os seus valores naturais e culturais e como o homem os utiliza e gere de modo sustentável. Advém da necessidade de articulação entre ecologia, planeamento e desenho, relacionando o padrão espacial da paisagem com a sustentabilidade ecológica, mas também social e económica (Quintas, 2014).

Embora seja um conceito que ganhou mais ênfase na atualidade, os Jardins Verticais já eram usados há muitos séculos. Os primeiros relatos remontam a 600 a.C. no Antigo Oriente sendo que na antiga Mesopotâmia os templos sumérios, babilónios e assírios, denominados de Zigurates ostentavam vegetação nos seus terraços. As referências mais significativas (4000 a 600 a.C.) dizem respeito a Eitemenanki na Babilónia, e Nanna na antiga cidade de Ur (Raposo, 2015).

Nas diferentes culturas, assistimos a diversos avanços e os jardins verticais usavam-se de diferentes formas e por diferentes motivos. Segundo Aragão (2011), nas Vilas Romanas era comum as habitações estarem ornamentadas com flores, arbustos, trepadeiras e árvores de fruto. Surgiu a aplicação destas, às fachadas das habitações, um sistema que possuía não só uma finalidade estética mas também a redução do calor no interior das casas, quando as temperaturas estavam mais altas.

Historicamente, os jardins verticais foram o ponto de partida para considerar a possibilidade de cultivo de plantas em superfícies verticais e alguns exemplos datam de há 2000 anos nas regiões mediterrânicas. As paredes verdes foram usadas pela primeira vez em edifícios para fins meramente decorativos em muitas cidades da Europa e da América do Norte no século XIX. No entanto, o valor de controle ambiental das paredes verdes na Europa não foi percebido até a década de 1980, onde muitos programas e estudos reconheceram sua capacidade de mitigar o material particulado, reduzir o ruído e fornecer efeitos de arrefecimento levando ao desenvolvimento de muitos projetos que promoveram os usos das paredes verdes (Hadba *et al.* 2019).

As *TurfHouses* que surgiram na Islândia na era Viking, são um exemplo em que eram usados jardins verticais com o intuito de estabilizar as condições climáticas. Como existiam certas adversidades climáticas a solução pensada foram as coberturas vegetais, que deixavam a casa protegida, amenizando as temperaturas, tanto em relação às temperaturas baixas, como também, às temperaturas altas. Com

este sistema, para além de a temperatura se manter uniforme durante as várias estações do ano, estas habitações têm também, capacidade de isolamento. Na figura 1 está representada uma das *TurfHouses* localizadas na Islândia.



Figura 1 - *TurfHouse* na Islândia. (Retirado de Hurstwic. The Houses in the Viking Age.)

Atualmente, neste território ainda se adaptam este tipo de jardins verticais a casas, mesmo em habitações modernas, com aspeto mais contemporâneo, continuam a utilizar e integrar este sistema, mantendo a tradição e unindo-a com o moderno, assim como na figura 2.



Figura 2 – Exemplo de uma *TurfHouse* moderna. Uma casa com arquitetura contemporânea, com adaptação de jardim. (Retirado de CNN style. Créditos: Rafael Pinho)

Na Europa utiliza-se, cada vez mais, mais o cultivo da videira junto às fachadas, pois esta é uma planta que trepa e agarra-se facilmente a estruturas verticais. Segundo Aragão (2011), esta planta era utilizada nos jardins verticais também, para rentabilização de espaço, pois, são obtidos desta planta, os frutos, de onde a população obtém o vinho. Esta técnica, depois, passou a ser utilizada com outras espécies de frutos e rapidamente se estendeu por toda a cultura mediterrânea, não só por oferecer frutos, mas, também porque, esta prática fornecia uma cobertura da fachada que tornava as habitações mais agradáveis e fazia sombra.

No século XV, já se considerava utilizar estas estruturas em castelos e casas senhoriais, por exemplo na França e na Inglaterra. Esta ideia de cobrir os muros dos castelos e das casas senhoriais populariza-se ainda mais na 2ª metade do século XX com o desenvolvimento da “cidade jardim”, proposta por Ebenezer Howard em 1898, que visava que a cidade e o campo “se fundissem”, aproveitando as vantagens de ambos e evitando o crescimento exponencial desproporcional das cidades cinzentas. A partir daí a ideia de cobrir os muros com vegetação é considerada como elemento que prestigia a fachada (Aragão, 2011).

Uma das referências do século XX é a Casa Scheu de Adolf Loos, onde é colocada vegetação numa das fachadas. Com a cobertura do terraço e uso do jardim vertical, Loos procurava a sensação de liberdade (Amorim, 2015). Passou a utilizar-se esta técnica por toda a Europa e quando surgiram preocupações ambientais e ecológicas, esta técnica popularizou-se ainda mais.

Há cerca de 30 anos, julgava-se que as plantas trepadeiras eram perfeitas para os jardins verticais. O “mur végétal” concebido por Patrick Blanc veio revolucionar o conceito dos jardins verticais. Plantar no solo deixou de ser a única opção e passou a existir a opção de “plantar sobre a parede” (Vialard, 2010). Patrick Blanc, é um botânico especialista em plantas de florestas tropicais, que revolucionou estas ideias, e propôs a utilização de diferentes plantas das trepadeiras para o jardim vertical, e afirmou que com água e nutrientes adequados, diferentes plantas poderiam ser utilizadas.

A crescente preocupação ecológica e ambiental, devido ao aquecimento global associado à poluição atmosférica e sonora, está comprovadamente ligada à pequena quantidade de vegetação e áreas verdes nos ambientes urbanos e ao desenvolvimento tecnológico. A partir disso, novas abordagens para melhorar a qualidade do meio ambiente em áreas urbanas começaram a ser desenvolvidas. Uma dessas abordagens são os Jardins Verticais e Horizontais, que assumem cada vez mais, papéis maiores nos últimos anos (Hadba *et al.* 2017).

Este conceito evoluiu de tal forma que hoje se podem admirar as suas fascinantes realizações por todo o mundo, de que são exemplo o museu Quai Branly em Paris, o Square Vinet em Bordeaux, ou o edifício Caixa Fórum em Madrid (Vialard, 2010). Gradualmente, com a evolução de novos estudos e novas

técnicas, as técnicas associadas aos jardins verticais vão sendo melhoradas de forma que estes se adaptem a diferentes locais e de modo que se retire o melhor proveito dos mesmos. Estas estruturas são utilizadas em várias partes do mundo de acordo com a cultura, o clima ou outras particularidades.

Os sistemas de integração da vegetação na arquitetura (verdes verticais, telhados verdes e tratamento de solos no entorno da edificação) e os seus benefícios ambientais são objeto de estudos e pesquisas a partir da década de 80 (Köhler, 2008), mas ainda não é totalmente aceite como um método de economia de energia para o ambiente construído, especialmente os sistemas de jardins verticais mais inovadores (sistemas de paredes vivas) (Perini, 2012).

Em Portugal, a designação Estrutura Verde Urbana surgiu pela primeira vez num documento publicado nos anos 90, pela Direcção-Geral do Ordenamento do Território (Magalhães, 1992), embora não tivesse um carácter legislativo ou de identificação obrigatória (Quintas, 2014).

Atualmente existem diversas formas de ajardinar uma fachada, dependendo do resultado pretendido, do local onde se querem instalar ou mesmo do custo que se pretende despende. Existem algumas classificações de autores, ou mesmo empresas técnicas destes sistemas, que as classificam e denominam, por vezes de formas diferentes, o que depois de analisadas se conclui que usam os mesmos princípios técnicos de construção e elaboração (Raposo, 2015).

Em muitos países, aumentaram, de forma significativa, as exigências de conforto acústico nas edificações. Isso se deve ao crescimento urbano significativo e, conseqüentemente, ao aumento das taxas de densidade demográfica e construtiva nesses espaços (Specht *et al.* 2009).

## **2.2. Definição de jardim vertical**

Jardim Vertical é um termo descritivo usado para referir a formas de vegetalizar na totalidade ou parcialmente fachadas de edifícios. É também o termo para referir um sistema de anexação de plantas a estruturas de engenharia civil e paredes de prédios verdejantes (Mir, 2011).

Os jardins verticais, são uma solução construtiva adaptável tanto a ambientes interiores como exteriores. Contrariamente às coberturas verdes, os elementos que compõem este tipo de sistemas obedecem a uma estrutura de camadas muito variável, consoante o tipo de parede verde (Bruno, 2018).

As estruturas verdes incluem árvores, arbustos, muros verdes, e coberturas verdes, que tenham alguma função. Em geral, todas tem a função de oferecer uma porção de aspeto natural às cidades, conciliando a parte urbana com a natureza e assim oferecer à população uma sensação de bem-estar e harmonia. Porém, com o desenvolvimento de novas técnicas, começamos a compreender como beneficiamos mais

de cada estrutura verde e implantamos diferentes estruturas verdes em diferentes locais, conforme mais se adequa e como conduzirá para mais benefícios para o meio urbano.

Existem vários termos e várias definições para jardins verticais, como, muros verdes, paredes verdes, ou *VGS (Vertical Greenery Systems)*, estas estruturas englobam todas as paredes que tenham vegetação. Podem ter vantagens e desvantagens como referido anteriormente, e consoante o seu tipo, e dependendo destas vantagens e desvantagens analisamos a sua capacidade de atenuação do ruído. Os jardins verticais, assim como qualquer outro sistema, são constituídos por outros elementos que se interrelacionam para seu perfeito funcionamento. A estrutura de suporte por si só não determina o sucesso completo do conjunto, é preciso atenção para cada um dos demais componentes (Barbosa & Fontes, 2016).

Para além destas estruturas concederem à cidade valor estético, melhoram as condições urbanas. Têm vantagens ao nível social, ou seja, psicologicamente (exemplo: as pessoas sentem-se melhor quando existe vegetação), fisicamente (exemplo: as áreas verdes captam as poeiras e pós, favorecendo, principalmente, população com problemas respiratórios), acusticamente (absorção do ruído) e esteticamente (exemplo: valorizam as fachadas). Na categoria ambiental, também existem vantagens, ao nível da qualidade do ar, da drenagem, da biodiversidade, diminuindo a ilha de calor, servindo como filtro e oferecendo um microclima. Economicamente, também existem vantagens, segundo Mangone & Van der Linden (2014), a vegetação proporciona uma melhoria de produtividade e criatividade à população, melhorando desempenhos em empresas e consagrando lucros finais. Ainda ao nível económico, estes espaços reduzem os custos de manutenção dos edifícios e diminuem os gastos em arrefecimento ou aquecimento dos edifícios. Existem algumas desvantagens, que depois, se tornam aspetos com que devemos ter especial atenção, como, ter de podar com frequência e fazer a limpeza tanto das folhas que permanecem seguras como das folhas que caem. Existe também a dificuldade acrescida de renovar as fachadas, as calhas e ralos ocasionalmente podem entupir, e eventualmente as divisões interiores das casas, podem ficar mais escuras por obstrução de janelas.

Dada a dificuldade em encontrar espaços vazios para a plantação de vegetação na malha urbana, as próprias edificações podem fornecer o espaço necessário. A integração massiva da vegetação na arquitetura permite explorar as superfícies construtivas (tanto horizontais como verticais) para obter os benefícios acima mencionados e, conseqüentemente, uma melhoria da qualidade ambiental e do bem-estar dos habitantes (Perini, 2012). Ainda segundo o mesmo autor, existem várias características, elementos e tipologias para construção destes sistemas, e integração nos edifícios. Os sistemas devem ser implementados, tendo em consideração a sua envolvente, as peculiaridades funcionais e formais de forma a obter os benefícios ambientais necessários e alcançáveis. Por fim, devemos ter em consideração os aspetos ambientais e económicos.

### 2.3. Sistemas de jardins verticais

A fachada de um edifício é considerada a primeira linha de proteção contra condições climáticas e ambientais adversas numa área urbana, como vento e a chuva, levando-a a ser afetada e eventualmente danificada pela interação contínua e direta (Hadba *et al.* 2017).

Os jardins verticais são um sistema que, para um perfeito funcionamento, englobam vários componentes. Segundo Barbosa & Fontes (2016), uma boa utilização desta técnica depende, da tecnologia de suporte, do sistema de irrigação, da utilização de espécies adequadas ao clima e ao tempo de exposição à radiação solar.

Conforme Hadba *et al.* (2017) os jardins verticais são construídos sobre o conceito de aplicação de vegetação nas superfícies verticais dos edifícios e no início eram apenas reconhecidos por isto, no entanto, atualmente existem diferentes sistemas de paredes verdes que se dividem de acordo com os seus métodos de cultivo. Ao considerar um sistema de paredes verdes, o processo de decisão do melhor método deve levar em consideração múltiplos fatores como o investimento para o qual esses sistemas são escolhidos, o local de implantação e a capacidade económica.






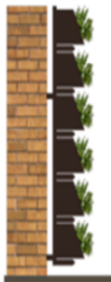


Segundo Hadba *et al.* (2019) um estudo desenvolvido pelo estúdio *Bread*, analisou o conceito de Corredor Florestal como barreira de ruído de uma rodovia, que tem o propósito de limitar o acesso de ruídos ou poluição do ar nas áreas urbanas. Este conceito é utilizado em alternativa à estrutura vertical utilizada noutras áreas urbanas. Esta estrutura tem três requisitos a serem considerados, oferece proteção contra as luzes dos veículos especialmente para as residências à volta, as plantas atuam como uma extensão das áreas verdes, uma vantagem em termos de melhorias visuais, e cria uma camada transparente que reduz a sensação de estar preso que os condutores têm dentro de túneis. Nesta solução, o pilar principal é feito de material reciclado e ecológico, de recipientes e jarras que fornecem polietileno de alta densidade necessário. Neste modelo, a água da chuva seria recolhida da barreira e da superfície da estrada e canalizada para os vasos de plantio, o que elimina a necessidade de irrigação. Ainda segundo Hadba *et al.* (2019) existem outras estruturas como as Casas Ninho de Patrick Dougherty, que são criadas com árvores, como salgueiro, bétula, álamo e bordo. Apesar de não haver estudos sobre como estas estruturas podem ter impacto positivo sobre o ruído, sabe-se que as árvores utilizadas, nomeadamente, o salgueiro é considerado como uma boa árvore para ser parte de barreiras de ruído, isto porque ajudam a mitigar o mesmo. O álamo também tem um bom desempenho quanto à redução do ruído, isto, quando tem um bom espaço para plantio e quando combinado com outras espécies, isto porque são plantas de folha caduca, o que faz com que a sua eficiência diminua no inverno. Em geral, as árvores oferecem boa capacidade de absorção e tem boas qualidades de redução de ruído, e podem oferecer o que é chamado de “white noise”, que é produzido pelo vento que incide sobre as folhas e os galhos gerando um som relaxante de natureza.



Conforme Hadba *et al.* (2019) existe ainda, o sistema de barreiras de salgueiro verde vivo, desenhado para incorporar as características de crescimento natural do salgueiro e a sua capacidade eficiente de fornecer isolamento acústico. Este sistema é construído para que as varas do salgueiro formem uma parede enraizadas na terra até 60 cm de profundidade. O salgueiro oferece uma redução de ruído eficiente onde as barreiras feitas a partir desta árvore evidenciaram fornecer uma redução de 25-35 dB com capacidade de absorção que chega a 87% em 800 Hz e tem uma expectativa de durabilidade de 25 anos. Ainda existe outro sistema construído com varas de salgueiro chamado “*Kagome Sandpit*”, primeiramente executado para ser uma área de parque infantil mais natural, de forma a enquadrar-se no ambiente e mantendo conexão entre as crianças e os seus pais. Em relação às soluções mencionadas anteriormente, dependendo do uso do sistema verde, existem diferentes soluções ambientais, onde a maior parte da estrutura depende das plantas (Hadba *et al.* 2019).

Os sistemas diferentes de jardins verticais dividem-se por sistema extensivo, que são as fachadas verdes, ou sistema intensivo, que enquadra as paredes vivas. Na tabela 2, identificam-se os tipos de jardins verticais.

Tabela 2 - Tipos de jardins verticais e os seus diferentes sistemas (Adaptado de Bruno, 2018)

Paredes Verdes							
Sistemas Extensivos				Sistemas Intensivos			
Fachadas Verdes				Paredes Vivas			
Diretas		Indiretas		Contínuas		Modulares	
	Modular	Treliça	Rede de cabos		Tabuleiros	Vasos	Floreiras
							

Os sistemas de irrigação utilizados nos jardins verticais podem ser vários, existem alguns até, que não necessitam de nenhum tipo de sistema de rega, a não ser a rega natural. Segundo Vialard (2010), as

necessidades de rega e os sistemas a utilizar podem variar consoante os fatores de exposição, o clima, o tipo de plantas.

A escolha das plantas deve considerar as exigências quanto ao clima, necessidade hídrica, exigência nutricional, características de crescimento e hábito e a exposição à radiação solar. Quanto ao clima e incidência luminosa, as espécies devem estar adaptadas às condições locais e a escolha deve considerar a sua necessidade de pleno sol, meia-sombra ou sombra plena (Barbosa & Fontes, 2016). Ainda segundo, Barbosa & Fontes (2016) as espécies utilizadas nestes jardins podem atingir diferentes portes. Tanto pode ser uma vegetação rasteira, como arbustos ou trepadeiras, e estas características de crescimento e hábito devem ser consideradas no projeto para o sistema estrutural e a vegetação estarem seguros e o jardim poder desenvolver-se em conformidade. Ainda conforme referido por Barbosa & Fontes (2016) as plantas, como estão plantadas ao longo da parede, estando altas, sofrem com ventos fortes e demasiada exposição solar, deixando o substrato seco, por isto, é fundamental um sistema de irrigação.

As plantas também têm uma exigência nutricional e por isso, segundo Biscaro & Oliveira (2014), as fachadas verdes com trepadeiras plantadas no chão e as paredes vivas de pequena escala têm adubação por adubos granulados. Já nas paredes vivas contínuas e modulares mais extensas, a adubação é mais complicada. Podem usar-se outras técnicas, como, a solução nutritiva ser misturada na água da irrigação.

Os jardins verticais também podem ser inseridos sem solo, com a desvantagem de que não diminuem tão acentuadamente o ruído. Para a sobrevivência das plantas, sem substrato, este tem que ser substituído, e é aqui que entra a hidroponia, uma prática associada a botânica. A hidroponia consiste na utilização da água ao invés de substrato.

#### **2.4. Fachadas verdes**

As fachadas verdes podem ter um sistema direto ou indireto. Segundo Barbosa & Fontes (2016), e Manso & Castro Gomes (2015) nas fachadas verdes são utilizadas trepadeiras, espécies arbustivas ou herbáceas que crescem direta ou conduzidas pela parede até chegar ao topo e ocupar o total da mesma, sendo assim, este é um sistema de fácil construção e também de mínima e económica manutenção.

É importante que as plantas sejam encaminhadas para cobrir total ou parcialmente as paredes do edifício. Este método pode ocorrer da forma mais natural por auto apego das plantas, quando elas não necessitam de qualquer meio adicional para se sustentarem, ou em casos mais criativos e tecnologicamente avançados, onde são necessários sistemas de painéis modulares, ou sistemas de cabos (Raposo, 2015).

Segundo Santos (2017), as fachadas verdes com trepadeiras podem ser desenvolvidas em forma de cascata, plantadas na base, no topo ou em locais intermédios da fachada. As plantas podem demorar entre 3 até 5 anos até cobrir a totalidade da fachada.

As fachadas verdes são baseadas na utilização de trepadeiras presas diretamente à superfície do edifício, como na arquitetura tradicional, ou suportadas por cabos ou treliça (fachada verde indireta). No primeiro caso, trepadeiras plantadas na base do edifício permitem obter um esverdeamento de fachada barato, mas com possíveis implicações para as obras de construção que precisam ser realizadas. Além disso, algumas trepadeiras podem atingir 5 ou 6 metros de altura, outras cerca de 10 metros e algumas espécies pelo menos 25 metros (Dunnett & Kingsbury, 2004). No caso de um sistema indireto (a vegetação é suportada por cabos ou malhas), muitos materiais podem ser usados como suporte para plantas trepadeiras como, por exemplo, aço (aço revestido, aço inoxidável, aço galvanizado), tipos de madeira, plástico ou alumínio. Cada um dos materiais enumerados altera as propriedades estéticas e funcionais devido aos diferentes pesos, espessuras do perfil, durabilidade e custo (Ottelé *et al.* 2011). Além disso, as caixas de plantio podem ser usadas para alcançar alturas superiores ou para sustentar uma gama mais ampla de vegetação como arbustos (Perini, 2012).

Dentro da listagem de espécies com comportamento de trepadeiras, a seleção da espécie mais adequada a implementar no jardim varia consoante as condições climáticas, características do edifício e da estrutura de jardim vertical. São espécies que apresentam algumas limitações no que diz respeito ao crescimento - varia de 5 a 25 metros de altura -, levando até cinco anos a alcançar o desenvolvimento pretendido (Manso & Castro Gomes, 2015).

É importante que estas plantas tenham um apoio que permita o seu desenvolvimento completo ao longo da fachada. Este apoio pode ser natural, ou seja, plantas que por si só se conseguem fixar à fachada ou pode ser um apoio proporcionado por mão humana, tal como treliças modulares, cabos ou malhas (*Greenroofs*) (Santos, 2017).

Nas figuras 3 e 4 estão representados os diferentes sistemas de fachadas verdes.

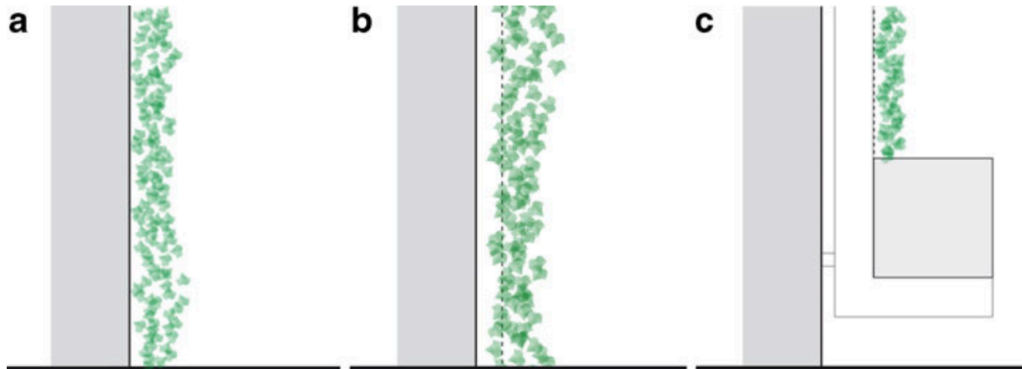


Figura 3 - Fachada verde direta (a), fachada verde indireta (b) e fachada verde indireta combinada com caixas de plantas (c) (Perini, 2012).



Figura 4 - Fachada verde direta (a), fachada verde indireta (b) e fachada verde indireta combinada com caixas de plantas (c) (Perini, 2012).

#### 2.4.1. Fachadas verdes diretas

Fachadas verdes diretas, ou tradicionais, são sistemas que utilizam unicamente as propriedades naturais das plantas trepadeiras, quer sejam caducas ou persistentes, para permitir o recobrimento total ou parcial de uma fachada, estando em contacto direto com esta e com o solo (Perini *et al.* 2011). Segundo Barbosa & Fontes (2016) e Manso & Castro Gomes (2015) as fachadas verdes diretas são aquelas em que as plantas são desenvolvidas junto da superfície da parede, porém são independentes. Segundo Ottelé (2011) estas podem ser implementadas com as plantas trepadeiras, que fixem autonomamente na parede, parede esta que deve ser rugosa, para simular um local natural e fortalecer a fixação.

Este recobrimento pode ser parcial, pois este tipo de plantas trepadeiras pode crescer entre 5 até 25 metros, dependendo da espécie. Além disso, pode demorar alguns anos para cobrir por completo uma fachada, sendo que sem manutenção, a vegetação pode-se tornar pesada e o risco de cair aumentar (Perini, 2011).

### 2.4.2. Fachadas verdes indiretas

Fachadas verdes indiretas utilizam sistemas de apoio (malha, cabos e treliças modulares) ao crescimento das plantas trepadeiras, quer sejam caducas ou persistentes. Estas plantas podem ter um contacto direto com a terra ou um contacto menos direto, ou seja, estão plantadas em caixas de substrato (sendo que estas albergam o substrato) (Perini & Rosasco, 2013). Segundo Mir (2015), este sistema consiste na utilização de, por exemplo, caixas de substrato, onde as plantas podem crescer em cascata, ou verticalmente com o apoio de sistemas de auto apego como o painel modular ou cabos.

O sistema de cabos de rede, trata-se de um modelo mais flexível que o anterior, constituído por cabos de aço resistentes, fixados na parede e conectados entre si por braçadeiras cruzadas (Barbosa & Fontes, 2016).

### 2.5. Paredes vivas

As paredes vivas (*living walls*) podem ser contínuas ou modulares, as modulares dividem-se, podem ser construídas com tabuleiros, vasos ou floreiras e podem ser implementadas em espaços interiores ou exteriores. Segundo Barbosa & Fontes (2016), Ottelé (2011), Perini (2012) e Scharer & Fedrizzi (2014) as paredes vivas modulares, podem ser construídas com mantas geotêxteis, com painéis ou com módulos pré-fabricados, que, tenham cavidades ou bolsas de desenvolvimento, onde cada espécie é cultivada num delimitado substrato, ou outro meio de desenvolvimento artificial individual. Todas as camadas são suportadas por uma estrutura fixa. Consistem em sistemas construídos no local (*in situ*) ou pré-fabricados, das mais diversas formas ou materiais, capazes de criar condições de sobrevivência para a planta ao longo da parede.

Comparativamente às plantas trepadeiras, os sistemas de paredes vivas podem cumprir várias funções e aumentar a variedade de plantas que podem ser usadas. Os sistemas de paredes vivas têm um design complexo e também pode proporcionar valor estético, vendo edifícios à distância e um rápido crescimento da superfície esverdeada (Mir, 2011). Relativamente às fachadas verdes, estes sistemas são mais complexos na sua construção, requerem mais manutenção, assim como uma rega mais exaustiva. A constante necessidade de rega advém da necessidade de reduzir o substrato da planta ao máximo, ou mesmo na sua totalidade, reduzindo o peso total do jardim e dessa forma garantir o equilíbrio da estrutura. As suas características são as mais apropriadas para permitir agradáveis experiências de composição de diferentes plantas, permitindo interessantes desenhos e jogos de cores (Garrido, 2011).

Construtivamente deverá existir uma parede interior de elevada massa térmica com uma camada de isolamento térmico na parte exterior. Como revestimento da parede e do isolamento, separada por uma pequena caixa-de-ar ventilada, deverá estar a vegetação. A caixa-de-ar é de vital importância para uma

parede viva, para além de servir como meio para dissipar o calor da camada exterior (de vegetação neste caso), é necessária para evitar que a água chegue á camada de isolamento (Garrido, 2011).

As caixas de substrato, por vezes denominadas de “*planter boxes*” (Perini *et al.* 2013), podem-se localizar na margem das fachadas, das coberturas, ou em locais intermédios da fachada. Estas caixas não têm muito espaço, daí que seja necessário limitar o crescimento das plantas. Desta forma, podem existir várias caixas ao longo da fachada para permitir o seu recobrimento completo (Ottelé, 2011). Na escolha das espécies vegetais deve haver especial cuidado em selecionar plantas com um rápido crescimento, reduzidas dimensões, e sobretudo devem-se combinar entre si de modo complementar biologicamente. Na medida do possível é altamente recomendável a utilização de espécies nativas, assim como espécies de alta capacidade de adaptação ao tipo de ambiente (Groult, 2008).

Nas paredes vivas modulares, a irrigação apresenta um emissor em cada módulo com vegetação. Já nas paredes vivas contínuas são menos tubos, pois a capilaridade do feltro é considerada na distribuição da água.

As figuras 5 e 6 representam os diferentes tipos de paredes vivas.

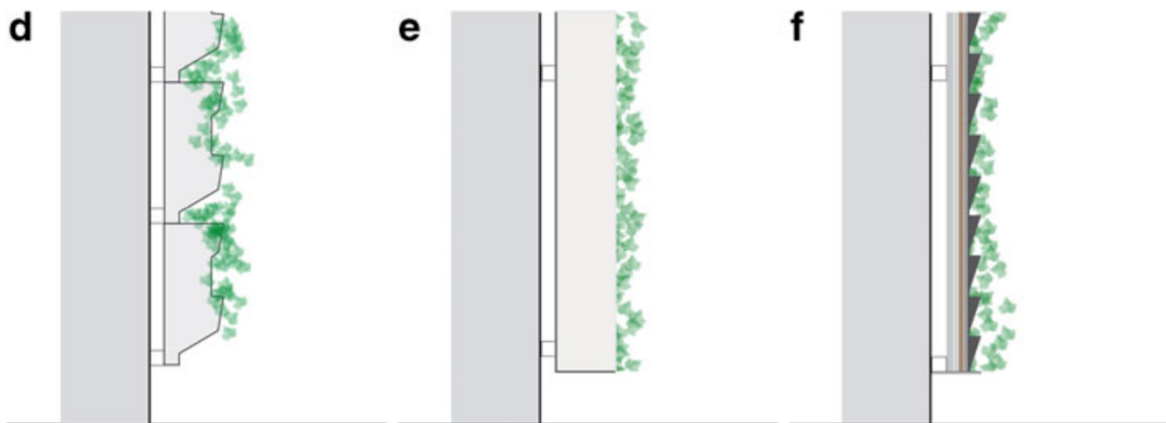


Figura 5 – Paredes vivas em caixas de plantas (d), parede viva em substrato de espuma (e), parede viva em camadas de feltro (f) (Perini, 2012)



Figura 6 - Paredes vivas em caixas de plantas (d), parede viva em substrato de espuma (e), parede viva em camadas de feltro (f) (Perini, 2012)

## 2.6. Manutenção

Os jardins verticais, sendo compostos por natureza, precisam de manutenção, segundo Raposo (2015), esta manutenção baseia-se na poda, nas adubações, limpeza de plantas invasoras ou mesmo substituição de algumas plantas. Segundo Florentino (2011) e Mir (2011), a quantidade e o tipo de manutenção varia dependentemente do tipo de jardim instalado e da vegetação obtida.

É necessário conhecer o sistema e ter máxima atenção quanto à sua performance, garantir que a sua estabilidade seja garantida e que não ponha em causa outras circunstâncias mais graves como a estrutura do próprio edifício (Irwin, 2008).

Os sistemas de jardins verticais têm algumas desvantagens mais propriamente ao nível da manutenção que pode gerar custos elevados, segundo Hadba *et al.* (2017), as desvantagens são o impacto que as plantas causam nas paredes, estas começam a ficar danificadas, principalmente quando os sistemas estão diretamente na mesma. Outra desvantagem é a presença de insetos, outros bichos e a sujidade acrescida que posteriormente fazem com que seja necessária manutenção.

A irrigação para as paredes verdes deve ser de baixo volume, a água deve ser aplicada em baixas quantidades e também, com pressões baixas. Podem ser aplicados diferentes sistemas de irrigação, e, estes devem ser colocados e adaptados tendo em conta, principalmente, quais as plantas dispostas na parede e as necessidades de cada espécie. Para as paredes vivas utiliza-se geralmente, o sistema de *microspray* e o sistema de gotejo. O sistema de gotejamento é o mais utilizado. Nele, a água é distribuída por tubos de polietileno, dos quais saem os emissores que aplicam água diretamente na zona radicular das plantas. Os *microsprays* emitem água em forma de névoa e são indicados para jardins externos, onde não há preocupação com umidade na alvenaria adjacente (NETO, 2015).

## 2.7. Análise custo-benefício

Alguns dos sistemas verdes verticais são tecnologias novas e inovadoras. Além dos benefícios ambientais acima descritos, eventualmente não está claro se esses sistemas (todos ou alguns) são sustentáveis devido aos materiais usados, manutenção, nutrientes e água necessários. Um estudo conduzido por Ottelé *et al.* (2011), a respeito de uma análise do ciclo de vida de quatro sistemas verdes verticais, mostra o perfil da carga ambiental em relação à economia de energia para ar condicionado e aquecimento que pode ser obtida (Perini, 2012).

Os resultados da análise da ilha de calor urbano (ICU) mostram um maior impacto ambiental para os sistemas de parede viva em comparação com as fachadas verdes, mas também o potencial de economia de energia, especialmente para o clima mediterrâneo, e a possibilidade de combinar funcionalidades também com uma maior integração dentro da envolvente do edifício. Os materiais envolvidos, devido ao seu próprio impacto ambiental e aspetos de durabilidade (para o sistema de suporte e para o tipo de planta) desempenham um papel importante no perfil de carga ambiental (Ottelé *et al.* 2011).

O estudo conclui que os sistemas de esverdeamento direto têm uma influência muito pequena na carga ambiental total, por esta razão este tipo de esverdeamento, sem nenhum material adicional envolvido, pode ser sempre considerado uma escolha sustentável para ambas as situações climáticas examinadas (Mediterrâneo e temperado) Além disso, o custo de uma planta trepadeira ronda os 30-45€/m<sup>2</sup> (Perini *et al.* 2011). Para os sistemas de esverdeamento indireto com ou sem caixas de plantio, os materiais usados têm uma grande influência na carga ambiental total. Por exemplo, madeira, polietileno de alta densidade (PEAD) e aço podem ter uma influência sobre o impacto ambiental do sistema cerca de 10 vezes menor do que uma malha de aço inoxidável (Ottelé *et al.* 2011). Além disso, os aspetos económicos são muito diferentes de acordo com o material utilizado. No caso de um sistema verde combinado indireto com caixas de plantio, a faixa de custo vai de 100-150€/m<sup>2</sup> para PEAD a 400-500€/m<sup>2</sup> para aço revestido e até 600-800€/m<sup>2</sup> para aço inoxidável. Diferentemente para o sistema verde indireto com apenas uma malha como suporte para plantas trepadeiras os preços para os três materiais são em torno de 40-70€/m<sup>2</sup> (Perini *et al.* 2011).

Para os sistemas de paredes vivas, os custos económicos e ambientais são geralmente mais elevados, do que fachadas verdes, que utilizam plantas trepadeiras. Segundo Mir (2012), isto deve-se aos sistemas de irrigação necessários, ao maior número de materiais envolvidos, e também ao maior número de espécies de plantas, etc. O sistema de irrigação necessário para os sistemas de paredes vivas e os estruturas de suporte especiais de acordo com cada sistema também fazem parte dos custos mais elevados (Mir, 2012).



O sistema de parede viva baseado em camadas de feltro tem um alto impacto ambiental devido aos aspetos de durabilidade e aos materiais usados (Ottelé *et al.* 2011) e o custo (inicial) chega a 750€/m<sup>2</sup>. O sistema de parede viva tem uma economia inferior (400-600€/m<sup>2</sup>, Perini *et al.* 2011) e impacto ambiental. O estudo conduzido por Ottelé *et al.* (2011) mostra que este sistema de paredes vivas não possui grande pegada devido aos materiais envolvidos, uma vez que os materiais afetam positivamente a resistência térmica do sistema. Além disso, os sistemas de paredes vivas oferecem um potencial muito mais criativo (estético) e permitem uma maior integração dentro da envolvente do edifício, o que pode reduzir o impacto ambiental (Perini, 2012).

Na maioria dos estudos, apenas os benefícios em escala micro são levados em consideração. Isso deve-se à falta de dados principalmente a respeito dos benefícios de macro escala e vinculados aos serviços de ecossistemas. Quando for possível considerar (económica e ambientalmente) todos os benefícios não quantificáveis (também relacionados aos serviços de ecossistemas), os sistemas de integração da vegetação na arquitetura irão tornar-se mais atrativos. Também os aspetos estéticos desempenham um papel na avaliação dos sistemas, uma vez que um sistema verde pode aumentar o valor do edifício (e vizinhança) e mesmo o valor económico deste edifício (Perini, 2012).

Segundo Mir (2011) e Ottelé (2011), os sistemas de jardins verticais são uma técnica de revestimento de fachadas dispendiosa. Middellie (2009) e Perini *et al.* (2010), referem que os custos iniciais para construir estes sistemas podem estar por volta dos 320 até 1200 euros por metro quadrado de fachada. Os custos de manutenção também são descritos como sendo altos, sendo que segundo Middellie (2009) e Perini *et al.* (2011), as atividades de manutenção mais custosas são o sistema de irrigação, já referido anteriormente, os custos de uso de elevadores de lança durante a fase de poda, a substituição de plantas, a substituição de painéis, os custos da atividade humana e a coleta e descarte de folhas caídas.

Na tabela 3 estão representados alguns custos e prazos associados à instalação, manutenção e descarte de jardins verticais dependendo do tipo de muro vertical.

Tabela 3 - Custos relativamente à instalação de jardins verticais (Perini *et al.* 2013)

<b>3a. Custos relativos à aplicação, manutenção e descarte de jardins verticais (€/m<sup>2</sup> de fachada)</b>				
<b>Relativo a:</b>	<b>Categoria</b>	<b>Situação</b>	<b>Prazo</b>	<b>Custo (€/m<sup>2</sup> fachada)</b>
<b>1. Fachada verde direta</b>	Inicial	Espécies de plantas e instalação	Uma vez	21.78
		Escavação e plantação	Uma vez	519.92
	Manutenção	Poda	Anualmente – depois do 4º ano	2.81
		Renovação do revestimento	Uma vez – 50º ano	1224.35
	Descarte	Eliminação da camada verde	Uma vez – 50º ano	31.10
<b>2A. Fachada verde indireta com PEAD</b>	Inicial	Espécies de plantas	Uma vez	21.80
		Escavação e plantação	Uma vez	519.92
		Sistema de suporte e transporte	Uma vez	36.07
		Instalação	Uma vez	83.50
	Manutenção	Poda	Anual – depois do 4º ano	2.81
		Renovação do revestimento	Uma vez – 50º ano	755.39
	Descarte	Eliminação da camada verde	Uma vez – 50º ano	197.40
<b>2B. Fachada verde indireta de aço</b>	Inicial	Espécies de plantas	Uma vez	1.52
		Escavação e plantação	Uma vez	36.27
		Sistema de suporte e transporte	Uma vez	93.79
		Instalação	Uma vez	83.50
	Manutenção	Poda	Anual – depois do 4º ano	2.81
		Renovação do revestimento	Uma vez – 50º ano	755.39
	Descarte	Eliminação da camada verde	Uma vez – 50º ano	199.74

### 3b. Custos relativos à aplicação, manutenção e descarte de jardins verticais (€/m<sup>2</sup> de fachada) (cont.)

<b>3A. PEAD indireto com caixas de plantio</b>	Inicial	Espécies de plantas	Uma vez	37.99
		Escavação e plantação	Uma vez	36.07
		Sistema de suporte e transporte	Uma vez	33.55
		Caixas de plantio	Uma vez	27.61
		Instalação	Uma vez	83.50
	Manutenção	Poda	Anual	5.63
		Irrigação (H <sub>2</sub> O)	Anual	0.96
		Substituição de plantas (5%)	Anual	1.90
		Substituição de canos (sistema de irrigação)	Anual	2.47
		Renovação do revestimento	Uma vez – 50º ano	695.67
	Descarte	Eliminação da camada verde	Uma vez – 50º ano	202.69
<b>3B. Sistema de aço indireto com caixas de plantio</b>	Inicial	Espécies de plantas	Uma vez	28.36
		Escavação e plantação	Uma vez	93.79
		Sistema de suporte e transporte	Uma vez	60.67
		Caixas de plantio	Uma vez	27.61
		Instalação	Uma vez	83.50
	Manutenção	Poda	Anual	5.63
		Irrigação (H <sub>2</sub> O)	Anual	0.96
		Substituição de plantas (5%)	Anual	1.42
		Substituição de canos (sistema de irrigação)	Anual	1.42
		Renovação do revestimento	Uma vez – 50º ano	695.67
	Descarte	Eliminação da camada verde	Uma vez – 50º ano	206.20
<b>4. Sistema de parede viva</b>	Inicial	Espécies de plantas	Uma vez	27.49
			Uma vez	176.23
		Sistema de irrigação	Uma vez	27.61
		Instalação	Uma vez	83.50

### 3c. Custos relativos à aplicação, manutenção e descarte de jardins verticais (€/m<sup>2</sup> de fachada) (cont.)

Manutenção	Poda e ajuste de painéis	Anual	14.41
	Irrigação (H <sub>2</sub> O)	Anual	0.96
	Substituição de painéis	Anual	6.05
	Substituição de plantas (5%)	Anual	2.75
	Substituição de canos (sistema de irrigação)	Anual	2.85
	Renovação do revestimento	Uma vez – 50º ano	486.96
Descarte	Eliminação da camada verde	Uma vez – 50º ano	218.56

<sup>a</sup>€/fachada de base em metro linear

## 2.8. O efeito dos obstáculos no ruído urbano

Quando o som, e em particular, o ruído, atinge um obstáculo, uma parte é refletida e a restante é absorvida, dissipando-se sob a forma de calor, sendo eventualmente transmitida através do obstáculo. Quando se interpõe, por exemplo, uma barreira acústica entre a fonte sonora e o recetor, a propagação sonora é fortemente alterada, e vários percursos da onda sonora se podem diferenciar (Silva, 2008).

A barreira sonora baseia-se no princípio básico da física acústica, ou seja, ela funciona como um obstáculo à onda sonora, desviando e/ou absorvendo-a (Specht *et al.* 2009).

Quando é interposta uma barreira acústica entre a fonte e o recetor de ruído, pode acontecer reflexão, absorção, transmissão e difração e, posto isto, as ondas sonoras podem ter diferentes trajetórias. Segundo Silva (2008), as várias trajetórias são, em primeiro, o ruído pode atingir, igualmente um recetor, ou, a onda sonora pode, devido ao efeito de difração, que ocorre nos bordos da barreira acústica, atingir também um recetor, a onda sonora pode, também, devido ao efeito de transmissão, transpor a barreira acústica atingindo o recetor, existe outra situação, onde a onda sonora pode refletir no solo e acabar por atingir recetores. Em outras situações, a onda sonora, pode refletir no solo quando é proveniente do efeito de difração atingindo um recetor e, posteriormente, a onda sonora pode ser absorvida pela barreira acústica ou refletida pela mesma.

A reflexão ocorre quando a energia sonora atinge uma superfície e muda de direção de volta para onde foi originada. Segundo Silva (2008), a reflexão pode ser especular, que ocorre quando as ondas

encontram superfícies lisas, formando, ângulos de incidência iguais aos ângulos de reflexão (lei da reflexão sonora). A reflexão também pode ser difusa, quando as ondas sonoras encontram superfícies rugosas e o som incidente é refletido em várias direções.

A difração sonora ocorre quando há o desvio das ondas sonoras por estas encontrarem um obstáculo ou uma abertura de tamanho igual ao seu comprimento de onda. Se a largura do obstáculo for menor do que o comprimento de onda, o som continua a propagar-se, rodeando o obstáculo e atravessando a abertura, sem sofrer nenhuma variação. Se por outro lado, a largura for maior do que o comprimento de onda, há distorção da onda sonora. No obstáculo, aparece uma zona de sombra atrás da superfície recetora e parte da energia sonora é refletida e absorvida. O “grau de curvatura” do som ou ângulo de difração em torno de um obstáculo depende da frequência. Quanto maior a frequência, menor é o grau de difração e vice-versa, isto é, as ondas sonoras de elevada frequência apresentam um menor comprimento de onda e têm um menor ângulo de difração (Silva, 2008).

Segundo Silva (2008), o coeficiente de absorção, quantifica a absorção sonora por parte das superfícies e esta quantificação é estimada com o coeficiente de absorção que, é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície e uma intensidade sonora qualquer que atinge esta superfície. Segundo Wong *et al.* (2010), o coeficiente de absorção sonora é definido através da área equivalente de absorção de som da espécie da planta em teste, dividido pela área da espécie em teste. Segundo Silva (2008), a absorção do ruído depende das propriedades do material e da frequência sonora que devem ser leves, ou seja, ter baixa densidade, ser fibrosos ou de poros abertos.

Geralmente, a fonte de ruído pode estar longe de possíveis recetores, porém o ruído pode atingi-los igualmente. Assim, procede-se à construção ou instalação de barreiras acústicas, principalmente quando existem rodovias perto de zonas residenciais. Segundo Silva (2008), uma barreira acústica protege a área contida na sua área de influência designada por "zona de sombra". Em casos de proteção dos edifícios altos, a barreira acústica deverá ser localizada mais afastada da fonte de ruído de contrário não conseguirá proteger os pisos superiores. Ainda conforme Silva (2008), uma barreira acústica para ser eficiente, tem de ser elevada, e comprida de forma que envolva a fonte de ruído. Isto porque, uma barreira acústica de características normais tem um efeito reduzido por exemplo em edifícios altos. Se a barreira tiver interrupções, ou se a localização, o comprimento, a altura e as características de transmissão reflexão e isolamento/absorção, não forem as indicadas a eficácia reduz significativamente.

Se as barreiras acústicas estiverem a separar a rodovia de uma certa área, e estiverem devidamente construídas, atenuam o ruído e criam uma zona de sombra, que resguarda as áreas adjacentes. Resumidamente, segundo Silva (2008), as barreiras acústicas podem ser naturais, como taludes, podem ser barreiras artificiais como muros e paredes, e podem ser barreiras mistas tais como, “bio-barreiras”

ou barreiras com um ou ambos os lados possuindo terra com coberto vegetal e no seu interior possuindo uma estrutura rígida com características acústicas.

A vegetação também é outra opção possível a localizar na zona de proteção. Se a cortina arbórea tiver uma espessura de 30 a 50 m e for constituída por uma densa vegetação, esta barreira pode reduzir entre 3 até 8 dB(A). Quanto à utilização de sebes para o mesmo efeito, a redução acústica produzida é muito reduzida (cerca de 0,1 dB(A)), a utilização de sebes, no entanto obtém um excelente efeito como barreira visual (Silva, 2008).

## **2.9. O efeito das barreiras verdes sobre o ruído**

Atualmente, a informação sobre a capacidade das áreas verdes, principalmente dos jardins verticais, na redução do ruído das áreas urbanas ainda é insuficiente. Os jardins verticais, atualmente, quando utilizados, deve-se muitas vezes ao facto de possuírem outras funções, tais como higrótérmicas e visuais. Existem vários estudos que se debruçam sobre estes temas, porém, a bibliografia encontrada acerca da funcionalidade dos jardins verticais como auxiliar na mitigação do ruído ainda é exígua.

Presentemente, tudo se integra numa cidade. Como se concentra tudo no mesmo espaço, a população demora menos tempo nas suas deslocações, o que melhora a qualidade de vida da população, pois, têm tudo o que precisam perto de si. Todavia, este facto tem a desvantagem de que os edifícios e habitações estão também perto de tudo o que pode causar ruído, como por exemplo, de estradas e avenidas ruidosas. Modernamente, as cidades mais sustentáveis, muitas vezes, as chamadas “cidades inteligentes” já sabem como utilizar as áreas verdes a seu favor, especialmente, os sistemas de jardins verticais muitas vezes para diminuir o ruído.

Na área urbana o tráfego rodoviário é a maior fonte de ruído, para isto as barreiras de vegetação podem tornar-se um meio para a redução do mesmo, existem vários métodos para a aplicação destas barreiras naturais, que ficam preferencialmente, entre a estrada e a área exposta ao ruído. As cidades que procuram criar um novo estilo de vida urbano sustentável descobriram que a vegetação é um elemento-chave para lidar com a poluição sonora. Os urbanistas estão atualmente, a procurar áreas para plantar vegetação. Assim, o esverdear das fachadas dos edifícios, conhecido como sistemas verticais de vegetação (“VGS”), ganha popularidade (Wong *et al.* 2010).

Quando se começa a perceber que, realmente, a vegetação reduz o ruído, esta técnica começa a ser utilizada, muitas vezes, nas coberturas das casas, os chamados telhados verdes, utilizados também por outros motivos. Posteriormente, estas técnicas começaram a ser utilizadas nas fachadas, com o objetivo de absorção, reflexão, transmissão ou difração do ruído. Estes muros verdes tem o propósito de impedir o ruído de alcançar altas frequências e tem a capacidade de enfraquecer, tanto altas frequências como

baixas frequências. Em algumas ruas mais movimentadas, são utilizadas barreiras verdes concebidas para haver uma separação e uma atenuação do ruído do tráfego, que combinando com o comércio, fazia com que as ruas fossem bastante ruidosas. Chamam a estas vias, as vias polivalentes, pois, têm várias funções e são bastante eficientes.

A redução do ruído do tráfego rodoviário pode ser alcançada através do uso otimizado da vegetação (Defrance *et al.* 2014). As propriedades de absorção e de disseminação da vegetação tornam-na uma alternativa potencialmente adequada às barreiras clássicas, além de apresentar um efeito estético (Ekici e Bougdah, 2003). Além disso, a interação com os espaços verdes tem um impacto benéfico na percepção do ruído (Dzhambov & Dimitrova, 2015). Embora as barreiras de vegetação sejam capazes de reduzir o ruído, elas devem ter pelo menos 1,5 m de espessura para atingir atenuações superiores a 5 dB (Kalansuriya *et al.* 2009). No entanto, a combinação de vegetação e uma barreira sólida pode ser uma solução interessante e eficaz (Dunnett & Kingsbury, 2004; Wong *et al.* 2010; Horoshenkov *et al.* 2013; Daltrop *et al.* 2012; Hodgson *et al.* 2013). Um artigo de de Van Renterghem *et al.* (2015) mostra que existem muitos métodos de redução do ruído do trânsito por meio de barreiras naturais entre a estrada e a região afetada pelo ruído. Aumentar a absorção nas superfícies de paredes paralelas de blindagem de ruído por meio de substratos plantados é uma técnica útil. As propriedades reflexivas, defletivas e absorptivas das plantas e os efeitos de atenuação produzidos pelo ar entre a vegetação e a parede podem aumentar o isolamento acústico proporcionado por tal barreira. Além disso, as plantas e a parede representam soluções espectrais opostas para a transmissão do ruído, bloqueando o som nas faixas de frequência mais baixas e mais altas, respetivamente (Dunnett & Kingsbury, 2004). Wong *et al.* (2010) analisaram 8 sistemas verticais de vegetação. Os resultados mostraram uma atenuação mais forte em frequências baixas a moderadas devido ao efeito absorvente do substrato, enquanto uma atenuação mais fraca foi observada no espectro de alta frequência. Eles também observaram um aumento nos coeficientes de absorção sonora com maior cobertura de vegetação. Horoshenkov *et al.* (2013) mediram os coeficientes de absorção acústica de cinco tipos de plantas de baixo crescimento na presença e ausência de solo. Eles descobriram que os coeficientes de absorção das plantas são predominantemente determinados pela densidade da área e pela orientação angular das folhas. A presença de solo poroso no qual uma planta cresce também pode afetar a capacidade da planta de absorver o som devido à interação entre as ondas sonoras propagadas através da planta até a camada superior do solo e as ondas sonoras refletidas do solo poroso. Yang *et al.* (2013) consideraram vários fatores como profundidade do solo, humidade do solo e nível de vegetação. As medições sem vegetação revelaram altos coeficientes de absorção, com decréscimo significativo à medida que a humidade do solo aumentava. Os coeficientes de absorção medidos na presença de plantas mostraram uma tendência de aumento com o aumento da cobertura e densidade da vegetação (Lacasta, 2016).

Segundo Wong *et al.* (2010), existe informação de que, as árvores, podem reduzir o nível de som de 5 até 8 dB. No Sudoeste de Nebraska, existem cinturões de árvores que podem atenuar o ruído até 10 dB.

Ainda segundo o mesmo autor, foi analisado que o nível de ruído proveniente de uma ferrovia diminuiu cerca de 8 a 9 dB devido a uma área verde, mais precisamente, um cinturão de árvores com cerca de 15 anos e 50 metros de largura. Este fenómeno também se verifica em locais com tráfego rodoviário com ruído considerável, onde se verificou também a atenuação de ruído. Foi percebido que, a atenuação do ruído é obtida quando há uma frequência alta, e quando o ruído se vai alargando. Nesta situação, quando a frequência do som é baixa, o efeito é quase inexistente.

As barreiras vegetais, dependendo das espécies das plantas, e do método de construção, podem ter propriedades de absorção, reflexão, ou de difração. Para os jardins verticais funcionaram realmente, como barreiras acústicas, é importante que, se apliquem as espessuras corretas de vegetação, segundo Kalansuriya *et al.* (2009) estas barreiras devem ter pelo menos 1,5 m de espessura para atingir atenuações superiores a 5dB. Além disso, segundo Dunnet & Kingsbury (2004), o sistema de cada parede verde representa soluções espectrais opostas para transmissão de ruído, bloqueando o som nas faixas de frequência mais baixas e mais altas. Segundo Ferreira (2015), o ruído reduz dependendo do tipo de parede verde, o ruído pode reduzir até 5 a 14 dB (decibéis), sendo que podem isolar, absorver ou refletir o ruído. Segundo Perini & Rosasco (2013), uma camada fina não permite obter vantagens significativas ao nível da redução de ruído.

A absorção, reflexão e difração do som depende do substrato, da espécie das plantas usadas e da existência de uma camada de ar entre as plantas e a fachada do edifício. O substrato tende a bloquear frequências baixas, já as plantas tendem a bloquear frequências altas (Wong *et al.* 2010). Ainda segundo o mesmo autor, quanto maior a área coberta com plantas, melhor será o comportamento acústico, então é importante garantir uma cobertura eficaz, sem falhas.

As barreiras acústicas naturais são constituídas por uma cortina de vegetação com uma profundidade mínima de 10 m, de espécies de plantas com características específicas. As espécies de plantas são selecionadas em função da altura, tipo de folhagem (perene ou caduca) e compatibilidade com o clima da região (Silva, 2008).

Segundo Hadba *et al.* (2017) a maioria dos sistemas de vegetação oferece altos níveis de absorção que atingem uma média de 41% na frequência de 800 Hz e níveis de redução de 4-9, 9 dB para frequências baixas e médias.

Wong *et al.* (2010) concluiu que a combinação de solo com uma variedade de plantas pode reduzir o ruído de 6 a 15 dB e aumentar a largura do cinturão de plantas pode também diminuir o nível de ruído. Ainda segundo Wong *et al.* (2010), a atenuação do ruído por estruturas verdes verifica-se principalmente em frequências baixas e moderadas, devido ao efeito de absorção do substrato. Também existe maior absorção quando existe mais vegetação. Segundo Horoshenkov *et al.* (2013) os coeficientes de absorção



das plantas são determinados pela densidade e orientação angular das folhas e também pela presença de solo poroso. Yang *et al.* (2013) apontou vários fatores que podem ser primordiais, como por exemplo, a profundidade e humidade do solo e o nível de vegetação.

Conforme Wong *et al.* (2010) quando a vegetação cobre a fachada a 100%, o ruído que passa é impercetível, em contrapartida, se cobrir apenas 43% a exposição ao ruído é significativa, e se cobrir 75% a exposição é mínima. Isto indica que a absorção depende principalmente das folhas. Também segundo Wong *et al.* (2010), o coeficiente de absorção sonora é definido através da área equivalente de absorção de som da espécie da planta em teste, dividido pela área da espécie em teste. Este coeficiente de absorção, quantifica a absorção sonora por parte das superfícies. Segundo Silva (2008), o coeficiente de absorção é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície e uma intensidade sonora qualquer que atinge esta superfície.

As barreiras para absorção do som, sendo vegetais, causam inferior impacto e poluição visual de absorção, assim como, menor agressão ao ambiente natural. Para além destas propriedades, apresentam um agradável efeito estético. Segundo Specht *et al.* (2009), estas estruturas são implementadas e não causam nenhuma diferença gritante no local colocado. Precisamos do máximo de densidade e cobertura das fachadas com plantas para obter o maior potencial e a melhor performance destes sistemas, pois só assim uma parte significativa do ruído será absorvida. Na figura 7 apresentam-se quatro sistemas verdes verticais com diferentes graus de cobertura, 0%, 43%, 71% e 100%.

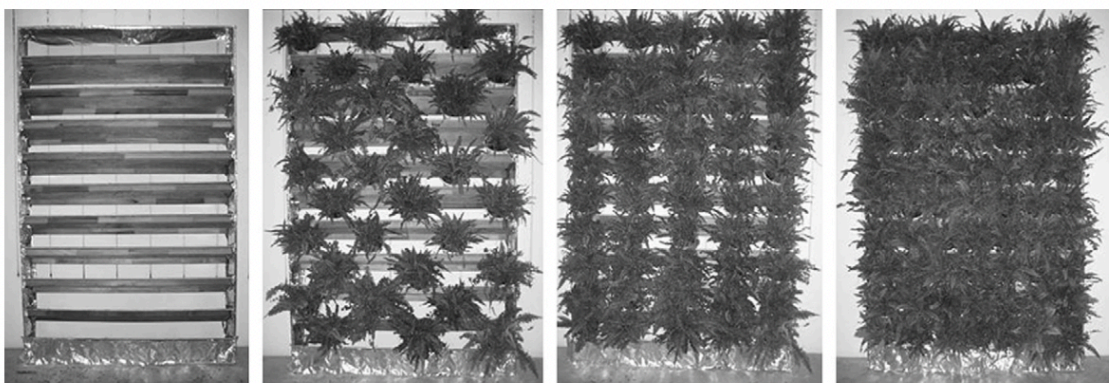


Figura 7 - Sistema vertical verde, na segunda imagem com 43%, na terceira imagem com 71% e na quarta imagem com 100% de cobertura (Wong *et al.* 2010).

O ruído proveniente do tráfego rodoviário pode ser reduzido por meio da absorção e difusão na vegetação (a difusão aumenta a área de propagação das ondas sonoras e parte da energia sonora é absorvida pelo efeito exercido pelo solo, absorção do ar, ou fricção com as folhas, ou é eliminado por conversão em

calor) (OECD, 1995). Contudo, vegetação deve ter a altura necessária e suficientemente densa para obter a redução do ruído por efeito físico (obstrução) (Silva, 2008).

As fachadas verdes diretas demonstraram ter um baixo impacto ambiental, com um bom nível de redução de ruído, e um bom impacto na qualidade do ar, com um período de retorno que varia entre 16 e 24 anos, sem esquecer as suas propriedades de poupança energética. Pode-se dizer que este tipo de arborização pode ser considerado sustentável e de fácil implantação, porém, deve-se levar em consideração o impacto danoso referente à influência direta do plantio na estrutura do muro (Hadba *et al.* 2017).

O sistema de “*greening*” indireto apresenta alguma carga ambiental ao oferecer uma melhor redução de ruído do que a fachada verde direta devido à possibilidade de adicionar camada de isolamento. Além disso, as fachadas verdes indiretas apresentam os mesmos benefícios ambientais em termos de economia de energia e melhoria da qualidade do ar que as fachadas diretas com um retorno que varia na maioria dos casos entre 16 e 42 anos. As fachadas verdes indiretas podem ser consideradas como uma solução sustentável (Hadba *et al.* 2017).

O sistema de parede viva (“*LWS*”) apresenta a maior carga ambiental devido aos materiais utilizados e ao aspeto de durabilidade. Além disso, o sistema de parede viva, em geral, é o sistema mais caro analisado; pois tem altos custos de instalação dos painéis pré-vegetados e custos de manutenção de todo o sistema (painéis a serem substituídos, espécies vegetais e sistema de irrigação). No entanto, oferece melhores soluções ambientais do que as fachadas verdes, principalmente no que diz respeito ao isolamento acústico e ao conforto térmico (Hadba *et al.* 2017).

Num estudo realizado pelo projeto SILENTVEG, foram estudadas as propriedades de absorção e bloqueio de um sistema de parede viva, revestida com “*Helichrysum thianschanicum*”. Os resultados mostraram que se submetido a um ruído de fonte direta com frequência entre 100 Hz e 5000 Hz, o sistema de parede viva foi capaz de reduzir o nível de ruído para uma média de 15 dB, podendo atingir uma média de 18 dB nos espaços entre as caixas plantadas. Além disso, esta solução fornece um “coeficiente de absorção sonora” de 0,40, ou seja, absorve 40% do som emitido para o sistema de parede viva (Hadba *et al.* 2017). Ainda segundo o mesmo autor, o sistema de parede viva proporciona na maioria dos casos uma melhor absorção sonora do que outros materiais estruturais convencionais, principalmente em baixas frequências. Embora, em altas frequências, o sistema de parede viva não apresente um desempenho tão eficaz. As paredes verdes têm um bom potencial para reduzir os níveis de ruído no ambiente circundante e podem ser utilizadas de forma eficaz em locais públicos, pois ajudam a controlar as reflexões de ruído devido às suas características de absorção.

Na tabela 4 estão identificados os sistemas de paredes verdes e os seus possíveis benefícios quanto à redução do ruído.

Tabela 4 - Paredes verdes e os potenciais benefícios quanto ao ruído (Adaptado de Hadba (2017)).

<b>Paredes verdes</b>	<b>Sistema de paredes vivas</b>	<b>Fachadas verdes diretas</b>	<b>Fachadas verdes indiretas</b>	<b>Fachadas verdes indiretas com caixas de plantio</b>
<b>Isolamento Acústico</b>	entre 15 a 18dB 40% de absorção	-		redução de 4-9, 9dB absorção sonora de 41% numa frequência de 800 Hz

Segundo Attal *et al.* (2020), foi feito um estudo com uma amostra da vegetação *Japanese Spindle* (“*Euonymus japonicus*”), em que o tamanho médio de uma folha é de aproximadamente 5 cm de comprimento e 3 cm de largura. A área foliar por unidade de volume e o ângulo de orientação dominante em relação à onda incidente são os principais parâmetros da folhagem a serem considerados em relação à absorção acústica. Quanto maior a densidade da área foliar e quanto maior o ângulo dominante de orientação foliar, maiores serão os valores do coeficiente de absorção acústica a serem alcançados. Para a folhagem da planta *Japanese Spindle*, a área foliar por unidade de volume foi avaliada em 100 m<sup>3</sup> e o ângulo de orientação dominante em 43° (±17°) que são valores favoráveis para absorção sonora. O *Japanese Spindle* é escolhido por vários motivos: é facilmente encontrado na natureza; o tamanho de suas folhas é pequeno em comparação com o diâmetro do tubo; a sua folhagem não é alterada quando separados do tronco durante três dias; e a sua folhagem é compacta e espessa permitindo amostras de menor porosidade e maior espessura. As folhas constituem uma porosidade com ar de 95%, que é estimada dividindo o volume total das folhas pelo volume interno das amostras. O volume de folhas é obtido submergindo caules e folhas num cilindro graduado cheio de água e medindo a variação do nível da água. Depois dos temas abordados, compreendemos que as barreiras vegetais são uma solução viável, que apenas tem de ser rigorosamente analisada para ser mais divulgada e de melhor forma. Como efeito, estes métodos passarão a ser mais utilizados.

## 2.10. A cidade biofílica

Sabendo que a natureza e os espaços verdes têm um grande impacto positivo nas vidas da população, surgiu o conceito da cidade biofílica. Segundo Beatley & Newman (2013), este design tem o intuito de fornecer à população do meio urbano o contacto diário com a natureza. Estas cidades são também, cidades sustentáveis que procuram ser um espaço resiliente para enfrentar os problemas que advêm das alterações climáticas. Este design defende que um bom design de um edifício, de um local, de uma cidade, e de qualquer região, deve incluir a natureza e os elementos naturais. Esta conceção baseia-se

no conceito de biofilia, popularizado pelo sociobiólogo E. O. Wilson, que argumenta que os humanos co-evoluíram com a natureza, e que carregamos connosco a necessidade de nos conectarmos com a natureza para mantermos uma vida saudável e feliz. Wilson refere que a biofilia é a “afiliação emocional inata de seres humanos a outros organismos vivos”, ou seja, uma compilação de regras e aprendizagem desenvolvido ao longo de milhares de anos de evolução e interação entre os humanos e a natureza.

Com base no que Beatley & Newman (2013) referem, existem cada vez mais evidências dos benefícios da vegetação para a vida quotidiana da população, tanto ao nível da saúde física como mental. Por estes motivos, planeadores, geógrafos, arquitetos e designers estão cada vez mais preocupados em enquadrar este tipo de design.

Existe atualmente, um crescente corpo de evidências sobre os benefícios para a saúde física e mental associados à presença de vegetação e aos elementos verdes nos espaços em que a população vive. Quanto aos edifícios, a pesquisa mostra fortes relações positivas entre a presença de luz natural, ar fresco e vegetação, com aumentos na felicidade e produtividade do trabalhador (Leather *et al.* 1998). Estudos semelhantes mostram o poder positivo das escolas que incorporam a luz natural do dia e outros elementos verdes, para aumentar os resultados dos testes dos alunos (Herschong *et al.* 2002). Evidências e pesquisas consideráveis, datadas da década de 1980, sugeriram o poder de cura e recuperação da natureza em hospitais e instalações de saúde (incluindo o estudo clássico de Ulrich (Ulrich, 1984), que mostra que a recuperação da cirurgia à vesícula biliar é significativamente aprimorada por visões da natureza). Evidências do poder das qualidades e características verdes também surgem à escala comunitária dos bairros. Bairros verdes e ambientes de vida mais naturais têm sido associados a reduções de stresse e aumento dos níveis de saúde física e mental (DeVries *et al.* 2003; Nielsen & Hansen, 2007; MIND, 2007; Van den *et al.* 2007; Harting *et al.*, 1991). Um importante estudo no *The Lancet* conclui que as populações com maior exposição ao espaço verde apresentam menor mortalidade e que a exposição ao espaço verde pode ajudar a reduzir as desigualdades na saúde (Mitchell *et al.*, 2008). A presença da natureza, além disso, está associada a melhorias no humor positivo, no desempenho cognitivo e até na criatividade (Atchley *et al.* 2012). Um estudo piloto recente usando tampas portáteis de eletroencefalografia (EEG) demonstra ainda mais o valor da natureza na redução da fadiga mental. A natureza tem imenso poder de restaurar, curar e fascinar (Beatley & Newman, 2013).

Ainda segundo Beatley & Newman (2013) as cidades e o ambiente urbano contêm uma grande variedade de ativos ecológicos e verdes, de parques a árvores, rios e habitats ribeirinhos, e cada vez mais se observam esforços para aprimorar os elementos e características verdes do ambiente em que a população vive e trabalha. A instalação de trilhos, plantio de novas árvores e florestas, hortas comunitárias, a instalação de muros verdes e jardins verticais, são algumas das muitas maneiras que existem para que a cidade se torne numa cidade mais verde, uma cidade biofílica. O urbanismo biofílico

pode e deve acontecer em diferentes escalas. Algumas destas escalas são por exemplo, os edifícios, as ruas, a comunidade e a região.

A sustentabilidade emergiu nas últimas duas décadas especialmente como um importante objetivo e quadro de referência para as cidades, e ambos os autores escreveram extensivamente sobre o que a sustentabilidade urbana implica (Peter & Kenworthy, 1999; Timothy & Manning, 1997). A sustentabilidade é idealmente entendida como um quadro de referência holístico para orientar o desenvolvimento da cidade e para ajudar as cidades a fazer muitas coisas ao mesmo tempo: reduzir suas pegadas ecológicas e necessidades de recursos, aprofundar as conexões com a paisagem e o lugar e melhorar a habitabilidade e a qualidade de vida enquanto ampliar as oportunidades econômicas para os menos favorecidos, entre outros (Beatley & Newman, 2013).

Segundo os mesmos autores, o objetivo é especificamente formar cidades mais verdes e naturais, ou seja, cidades com um urbanismo biofílico, o que as leva a ser mais sustentáveis e resilientes. Este movimento pretende investir principalmente para que as cidades sigam um caminho de resiliência ao nível ecológico, económico e social. O caminho para que este objetivo seja alcançado, é manifestamente, investir em infraestruturas/equipamentos verdes, que por sua vez estimulam a população a seguir hábitos mais saudáveis, como caminhar, que ajuda a diminuir os níveis de stress. A população fica com a sensação de compromisso para com a sua cidade e com isto tenta preservar a mesma, o que, pode por exemplo, diminuir os danos ecológicos.

Estas cidades biofílicas são cidades repletas e abundantes de áreas verdes e estruturas verdes para que todos os habitantes possam sentir conexão e ligação com a natureza, para que todos possam desfrutar e beneficiar da mesma. Para que a cidade continue a proporcionar qualidade de vida aos seus habitantes, têm de haver medidas de conservação da fauna e flora. Inclusive os habitantes devem defender e adotar ações que respeitem estas medidas de conservação. Muitas vezes seria imprescindível instruir os habitantes, acerca dos benefícios da natureza, com o propósito de que os mesmos cumpram estas medidas.

### **2.11. Eficiência acústica da parede verde de Cergy Pointoise**

Num documento de Lunain (2013), sobre a eficiência acústica de uma parede verde em Cergy Pointoise, foi proposto avaliar o comportamento *in situ* das paredes verdes no ambiente sonoro circundante, e avaliar também a durabilidade das características acústicas dos dispositivos. Neste local em estudo o projeto em questão pretendia fazer a vegetação de um muro ao longo da rua com cerca de 26,8 m por 5,64 m. A composição engloba quatro elementos, começando por uma estrutura com células de aço galvanizado. Seguidamente do preenchimento com substrato de plantio (mistura de matéria orgânica e vegetal), mantido por tecido de polipropileno à prova de decomposição. As plantas são compostas por

39 espécies de plantas para 5945 plantas. O sistema de irrigação é composto por tubos de micro-gotejamento com abastecimento de água controlado automaticamente (taxa de humidade: 30% a 40%). O princípio geral para medir a eficiência acústica de uma parede verde é, como já descrito anteriormente, a quantificação da paisagem sonora da rua sem parede verde e com parede verde ou antes e depois da inserção da parede verde.

A figura 8 retirada do documento realizado por Lunain (2013), ilustra as diferentes estruturas de um muro vegetal.

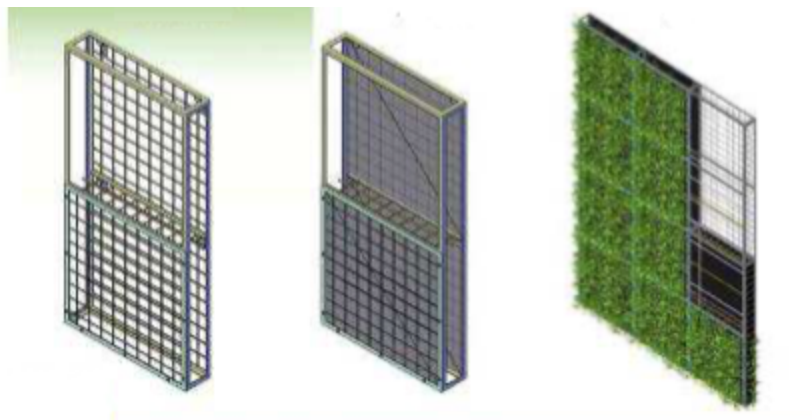


Figura 8 - Elementos estruturais de uma parede vegetal (Lunain, 2013)

Ainda sobre esta parede verde em Cergy Pontoise, foram feitos dois tipos de testes em paralelo: a medição do ruído do tráfego rodoviário ao longo de uma semana; e a sincronização do tráfego, comparando o “antes” e “depois”. Gerando um sinal de ruído através de um altifalante omnidirecional com três posições de fonte na parede, há uma recolha do sinal em nove pontos para avaliar o local. No mínimo, devem ser feitas cinco amostras por cada fonte/recetor e comparando o “antes” e o “depois”. Neste local foi percebido uma redução moderada de 0,5 a 2,5 dB do ruído do tráfego dependendo da configuração e do dia da medição.

Em geral, e ainda segundo Lunain (2013), as fontes e os níveis de ruído apresentam uma redução de 0,5 dB a 3 dB dependendo das configurações da fonte e do recetor. A implantação da parede pode reduzir os níveis sonoros na rua, em 400-2500 Hz a redução de ruído é moderada. A absorção sonora do substrato de plantio tem uma máxima eficiência em alta frequência (>3150 Hz). Existe também a difusão pela folhagem das plantas. Os limites de experimento são os ganhos acústicos altamente variáveis dependendo das configurações de fonte/recetor e dos períodos de medição. A eficiência sistemática do dispositivo depende do sistema evolutivo da parede vegetal (a rede radicular, o substrato e a folhagem). Quanto à sustentabilidade do dispositivo as conclusões são limitadas ao local de estudo (protocolo específico, e a configuração do mesmo).

### 3. Documentos normativos para a avaliação da absorção acústica

O fenómeno da absorção ocorre quando a superfície absorve a energia das ondas sonoras incidentes na superfície. A quantificação de absorção sonora é obtida pelo coeficiente ( $\alpha$ ). O coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície ( $I_a$ ) e uma intensidade sonora qualquer ( $I_0$ ) que atinge esta superfície. Como referido anteriormente, a absorção depende das propriedades do material e da frequência sonora. Contrariamente aos materiais de isolamento, os materiais de absorção são materiais leves (com baixa densidade), fibrosos ou de poros abertos, como por exemplo: espumas de poliéster de células abertas, fibras cerâmicas e de vidro, tecidos e carpetes (Silva, 2008).

Um dos métodos para a determinação da absorção acústica é a utilização de um tubo de impedância. O tubo de onda estacionária, também conhecido como tubo de impedância, é um equipamento que permite determinar o coeficiente de absorção e a impedância acústica dos materiais. Esses valores são essenciais para a escolha de produtos que melhor satisfazem as necessidades de um projeto de tratamento acústico, seja em ambientes fechados, máquinas, dutos ou silenciadores (Filho *et al.* 2010).

O método consiste em ativar um tubo de impedância (com uma amostra do material em estudo em sua extremidade) com um ruído branco de banda larga e medir a pressão sonora no seu interior. Os sinais obtidos são processados por analisador digital de frequências para se determinar a curva de absorção sonora em função da frequência (Salvo *et al.* 2005).

Tendo em conta a ISO 13472-2 Acústica – Medição das propriedades de absorção sonora de superfícies de estradas *in situ* – Parte 2: Método pontual para superfícies reflexivas, o diâmetro do tubo deve ser  $(100 \pm 1)$  mm. O tubo deve ter seção transversal circular, ser reto com seção transversal uniforme (variações de diâmetro não superiores a 0,2 %) e com paredes lisas, não porosas, sem furos ou fendas e rígidas para evitar perda de energia sonora.

Representado na imagem seguinte, por Hanson *et al.* (2004), está um tubo de impedância.

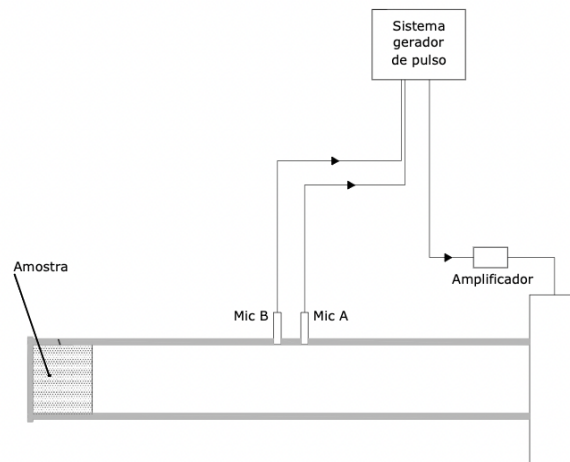


Figura 9 - Tubo de impedância. (Hanson *et al.* 2004)

### 3.1. ISO 13472-2 - Acústica – Medições *in situ* das propriedades de absorção sonora por parte da superfície das estradas - Parte 2: Método pontual para superfícies reflexivas

A parte 2 da ISO 13472 especifica o método de teste para a medição *in situ* do coeficiente de absorção sonora das estradas como uma função de frequência sob incidência normal.

Este método permite avaliar as características de absorção sonora de uma superfície de estrada sem danificar a superfície. Destina-se a ser usado para qualificar as características de absorção de superfícies de estrada usadas para testes de veículos e pneus. Também pode ser usado durante a construção de estradas, manutenção de estradas e outros estudos de ruído de tráfego. No entanto, o campo de aplicação é limitado a superfícies de baixa absorção.

O método especificado nesta parte da ISO 13472 é baseado na propagação do sinal de teste da fonte para a superfície da estrada e de volta para o recetor através de um tubo de impedância. O tubo cobre uma área de aproximadamente  $0,008 \text{ m}^2$  e uma faixa de frequência, em bandas de um terço de oitava, de 250 Hz a 1 600 Hz. É usado o procedimento de teste e o processamento de sinal especificado na ISO 10534-2, mas devido à faixa de frequência de aplicação definida, as dimensões do sistema não são ajustáveis, mas sim, fixas.

Este método destina-se principalmente a superfícies lisas de baixa absorção, como as de acordo com a norma ISO 10844. O método não é confiável se o coeficiente de absorção sonora medido exceder 0,15. Superfícies com valores acima de 0,10 não são consideradas refletivas.



Este método é complementar ao método de superfície extensa (ISO 13472-1) que cobre uma área de aproximadamente 3 m<sup>2</sup> e uma faixa de frequência, em bandas de um terço de oitava, de 250 Hz a 4.000 Hz.

Ambos os métodos devem fornecer resultados semelhantes na faixa de frequência de 315 Hz a 1 600 Hz, mas os seus campos de aplicação e, portanto, a sua precisão difere fortemente. O método descrito na ISO 13472-1 limitou a precisão em valores de absorção de som pequenos e, portanto, não é adequado para verificar a conformidade de superfícies com os requisitos de documentos como ISO 10844, pois o método aqui especificado falha em valores de absorção de som mais altos.

Dentro destas faixas, os métodos também são aplicáveis a outros materiais acústicos, para além das superfícies de estradas.

### 3.1.1. Definições

- Intervalos de frequência

Intervalo de frequência em que as medições são válidas, especificado em bandas de um terço de oitava de acordo com a IEC 61260.

Nota: A faixa de frequência é especificada em bandas de um terço de oitava, o que significa que o limite inferior é o limite inferior da banda de um terço de oitava mais baixa especificada e o limite superior é o limite superior da banda de um terço de oitava mais alta especificada. A faixa de frequência especificada em bandas de um terço de oitava de 250 Hz a 1.600 Hz de frequência central implica uma faixa de frequência especificada em bandas estreitas de 220 Hz a 1.800 Hz.

- Coeficiente de absorção sonora na incidência normal

$\alpha$

Razão entre a potência sonora que entra na superfície do objeto de teste (sem retorno) e a potência sonora incidente para uma onda plana com incidência normal.

[ISO 10534-2:1998, 2.1]

- Fator de reflexão da pressão sonora na incidência normal

$r_p$

Razão complexa da pressão da onda refletida para a pressão da onda incidente na superfície do objeto de teste para uma onda plana na incidência normal.

- Plano de referência para a superfície da estrada

Plano hipotético definido pela parte inferior do dispositivo de vedação no qual o fator de reflexão da pressão sonora é calculado.

- Nível de relação sinal-ruído

Diferença, em decibéis, entre o nível do sinal útil e o nível do ruído de fundo.

- Impedância de superfície normal

Z

Razão da pressão sonora complexa para o componente normal da velocidade da partícula sonora complexa numa frequência individual no plano de referência.

NOTA 1: Adaptado da ISO 10534-2:1998, 2.4.

NOTA 2: Embora não seja usado em especificações de superfícies de estradas, o cálculo da propagação sobre tal superfície requer uma impedância acústica complexa.

### **3.2. NP 10847:2021 - Determinação *in situ* da perda por inserção de barreiras acústicas exteriores de qualquer tipo**

Esta norma especifica os métodos para a determinação da perda por inserção de barreiras acústicas exteriores. Define os procedimentos detalhados para a realização da medição *in situ* da perda por inserção de barreiras acústicas, através de dois métodos, o método direto e método indireto:

Pelo método direto, a partir da diferença entre níveis sonoros registados antes e após a instalação da barreira acústica;

Pelo método indireto, quando não for possível efetuar a medição antes da implantação da barreira, através de medições efetuadas num outro local considerado equivalente a fim de estimar os níveis de pressão sonora antes da sua instalação.

Para a realização das medições, utiliza-se o sonómetro, que deve ser utilizado com um calibrador acústico e um protetor de vento nos microfones. Para além do vento, devem ser consideradas outras condições meteorológicas, como a temperatura, a humidade, a nebulosidade, e outras como a chuva ou a neve, tanto na medição “antes” e “depois” da barreira, de forma a garantir a reprodutibilidade das medições. Se a velocidade média do vento exceder os 5 m/s não deve haver medições. Quanto à temperatura, esta deve ser registada e não deve variar mais do que 10°C entre cada medição. A humidade deve ser semelhante em ambas as medições, uma vez que este parâmetro afeta predominantemente as fontes sonoras de alta frequência, ou seja, principais componentes sonoras acima dos 3 000 Hz. A nebulosidade divide-se em 4 classes, e cada medição deve ser realizada com a nebulosidade na mesma classe. A primeira classe é quando está bastante nublado (80% ou mais em todo o tempo de medição), na segunda classe está moderadamente nublado (50% a 80% pelo menos durante 80% do tempo de medição), a terceira classe é definida por pouca nebulosidade ou ensolarado (sol contínuo ou menos de 50% de nuvens durante pelo menos 80% do tempo de medição), a classe quatro é definida com noite de céu limpo. A chuva e a neve devem ser evitadas durante as medições, e a superfície molhada da estrada quando se mede a acústica de barreiras para o ruído de tráfego rodoviário também deve ser evitada.

Devemos considerar o ruído de fundo que devem ter um nível de pressão sonora igual ou inferior a 10dB. Para uma determinação válida da perda por inserção, o nível de pressão sonora da fonte deve ser equivalente para as medições “antes” e “depois”. Existem três tipos de fontes que podem ser utilizados para a determinação da perda por inserção de barreiras *in situ*. A fonte natural não controlada e é, segundo a norma, a melhor fonte a ser utilizada, sendo necessário monitorizar continuamente a fonte na posição de referência, durante as medições, a menos que a estabilidade desta seja claramente definida e documentada. A fonte natural controlada é utilizada quando as condições da fonte natural mudam entre medições do “antes” e do “depois”. É expectável que, por exemplo, as condições do tráfego variem entre as medições, posto isto, pode ser necessário escolher um ou vários veículos de ensaio como fontes típicas e usá-los como fonte natural controlada para as medições. A fonte artificial controlada é utilizada quando a equivalência da fonte natural “antes” / “depois” não pode ser estabelecida, e então é utilizado o método indireto. As fontes artificiais controladas são usadas quando existe alguma dificuldade, quanto a grandes distâncias, elevados níveis de ruído de fundo ou barreiras altas. Os parâmetros operacionais da fonte artificial devem ser controlados e monitorizados continuamente nas medições “antes” e “depois”. As características da fonte que afetam a perda por inserção são o conteúdo espectral, a direccionalidade, os padrões espaciais e temporais, as condições operacionais, e o número e os tipos de fontes individuais para fontes compostas. Estas características devem ser semelhantes para evitar qualquer erro na determinação da perda por inserção.

### 3.2.1. Definições

- Perda por inserção

A perda por inserção é a determinação do nível de atenuação do ruído quando é instalada uma barreira acústica.

- Nível de pressão sonora contínuo equivalente  $L_{peq,T}$

Nível de pressão sonora, em decibel (dB), de um som estacionário e contínuo a que corresponde, dentro de um intervalo de medição T, a mesma pressão sonora quadrática média que o som em análise, cujo nível sonoro varia no tempo. O nível sonoro contínuo equivalente é dado pela equação seguinte:

$$L_{peq,T} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right] dB$$

Onde

$t_1$  e  $t_2$  são os tempos correspondentes ao início e ao fim do intervalo do tempo de medição;

$$T = t_2 - t_1;$$

$p(t)$  é a pressão sonora instantânea;

$p_0$  é a pressão sonora de referência (20  $\mu$ Pa)

- Nível de exposição sonora ponderado A,  $L_{AE}$

O nível de exposição sonora ponderado A, expresso em decibel (dB), de um evento sonoro discreto é dado pela equação seguinte:

$$L_{AE} = 10 \log \left[ \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] dB$$

Onde

$p_A(t)$  é a pressão sonora instantânea, ponderada A;

$(t_2 - t_1)$  é o intervalo de tempo, que deverá ser suficientemente longo para conter todos os sons significativos de um determinado evento sonoro;

$p_0$  é a pressão sonora de referência (20  $\mu\text{Pa}$ );

$T_0$  é a duração de referência (1 s).

- Nível do ruído de fundo

Nível de pressão sonora, em decibel (dB), numa posição de referência ou numa posição do recetor, na ausência da fonte de ruído.

- Posição da fonte

Posição onde a fonte é colocada (se fonte estacionária), área onde as fontes estão localizadas ou onde se movimentam (para fontes estacionárias ou móveis) ou linha onde as fontes estão localizadas ou onde se movimentam (para fontes estacionárias ou móveis).

- Posição de referência

Posição onde o ruído da fonte é (ou será) praticamente não afetado pela presença da barreira instalada ou projetada.

NOTA: A posição de referência será utilizada para monitorizar o nível gerado pela fonte.

- Posição do recetor

Posição onde a perda por inserção é determinada; a localização desta posição não é definida na norma, mas deve ser escolhida de acordo com os objetivos do estudo.

### 3.2.2. Método de medição direto

O método direto apenas pode ser utilizado se a barreira não tiver sido ainda instalada ou no caso de ser possível a remoção da barreira de modo a poder efetuar-se a medição da situação correspondente à ausência da barreira acústica. As mesmas posições de referência e do recetor devem ser utilizadas para avaliar as situações da ausência e da presença da barreira. Em ambas as medições as características

da fonte sonora, do perfil do terreno, das obstruções que causem interferência, das superfícies refletoras no caso de existirem, da superfície do terreno e das condições meteorológicas devem ser equivalentes.

### 3.2.3. Método de medição indireto

Se a barreira já se encontrar instalada e não exista possibilidade de a remover de modo a possibilitar a medição do nível sonoro para a situação correspondente à ausência da barreira, deve ser estimado um nível sonoro numa localização equivalente ao local do estudo. Localização equivalente significa que existe uma equivalência da fonte sonora, do perfil do terreno, das obstruções que geram interferência e superfícies refletoras no caso de existirem, da superfície do terreno e das condições meteorológicas.

### 3.2.4. Método de medição

Os métodos de medição baseiam-se na medição simultânea dos níveis de pressão sonora na posição de referência e nas posições do recetor selecionadas.

- Posições do recetor

As posições do recetor devem representar um espaço aberto atrás da barreira, tendo em consideração os seguintes pontos:

- Nas condições de campo semilivre (distância entre a posição do recetor e superfícies refletoras verticais for pelo menos 30 m, ou duas vezes a distância barreira – posição do recetor).
- Se o dobro da distância entre barreira-posição do recetor for menor que a superfície refletora mais próxima, então estamos em condições de “sobre superfícies refletoras”. Nestas condições, aplica-se a posições do recetor diretamente fixados nas fachadas dos edifícios. A superfície da parede deve ser sólida, acusticamente refletora e plana a  $\pm 0,05$  m numa superfície de medição com uma dimensão de pelo menos  $0,5 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$ . Caso se considere a fachada não adequada, recorre-se a uma placa feita de um material acusticamente duro e rígido. A distância entre o microfone e a borda da superfície de outra qualquer parede (ou teto) deve ser de pelo menos 1 m. O microfone deve ser instalado o mais próximo possível da superfície, usando um protetor de vento cortado ao meio. O eixo do microfone deve ser orientado verticalmente.

- Grandezas a medir

No mínimo, os níveis de pressão sonora ponderados A devem ser medidos nas posições do recetor e nas posições de referência para todas as situações.

Uma gama de frequências de medição deve ser de 63 Hz a 4 000 Hz (bandas de oitava), ou, de 50 Hz a 5 000 Hz (bandas de 1/3 de oitava), respetivamente.

- Número de repetições das medições

É necessário repetir as medições nas posições do recetor e nas posições de referência para avaliar a incerteza associada à medição; essas repetições são então incorporadas na análise de erros. Recomenda-se um mínimo de três repetições em condições equivalentes. Se a distância entre a fonte e o recetor for superior a 250 m, poderão ser necessárias repetições adicionais.

- Duração das medições e dimensão das amostras sugeridas para cada sessão de medição

As sugestões quanto à duração das medições e ao tamanho das amostras são descritas na Tabela 5, com base na natureza temporal do ruído e na gama de flutuação do nível do ruído.

Tabela 5 - Durações e dimensões das amostras sugeridas (NP10847:2021)

Natureza temporal	Duração sugerida		
	Gama máxima de flutuação esperada dB		
	10	10 - 30	30
<b>Estável</b>	2 min	Não aplicável	
<b>Não estável, flutuante</b>	5 min	15 min	30 min
<b>Não estável, intermitente</b>	Para ao menos 10 eventos		
<b>Não estável, impulsivo e salvas isoladas</b>	Para ao menos 10 eventos		
<b>Não estável cíclico</b>	3 ciclos de "on/off"		

### 3.2.5. Determinação da perda por inserção de uma barreira

- Método direto

Se os níveis de pressão sonora puderem ser medidos diretamente “antes” e “depois” da barreira, este procedimento resultará diretamente na perda por inserção da barreira.

A perda por inserção da barreira,  $D_{IL}$ , é dada por

$$D_{IL} = (L_{ref,D} - L_{ref,A}) - (L_{r,D} - L_{r,A})$$

Onde

$L_{ref,A}$  é o nível de pressão sonora “antes”, na posição de referência;

$L_{r,A}$  é o nível de pressão sonora “antes”, na posição do recetor;

$L_{ref,D}$  é o nível de pressão sonora “depois”, na posição de referência;

$L_{r,D}$  é o nível de pressão sonora “depois”, na posição do recetor.

- Método de medição indireta

Em muitos casos, o nível de pressão sonora "antes" não é medido. Poderá ser estimado a partir de medições feitas num local acusticamente equivalente ao local antes da instalação da barreira. Essa medida fornece uma estimativa da perda por inserção da barreira.

As posições de referência e do recetor são as mesmas do método direto. A equivalência dos locais de medição, para os níveis "antes" e "depois", deve ser cuidadosamente verificada. Em campo semilivre, a diferença dos níveis de pressão sonora entre a posição de referência e a posição do recetor é dada por:

$$\Delta L_A = L_{ref,A} - (L_{r,A} - C_r)$$

$$\Delta L_D = L_{ref,D} - (L_{r,D} - C'_r)$$

Onde

$L_{ref,A}$  é o nível de pressão sonora “antes”, na posição de referência (local de substituição);



$L_{r,A}$  é o nível de pressão sonora “antes”, na posição do recetor (local de substituição);

$L_{ref,D}$  é o nível de pressão sonora “depois”, na posição de referência;

$L_{r,D}$  é o nível de pressão sonora “depois”, na posição do recetor;

$C_r$  e  $C'_r$  são fatores de correção para o tipo da posição do recetor;

Em “campo semilivre”:  $C_r = 0dB$

“sobre superfícies refletoras”:  $C'_r = 6dB$

Nota: As posições do recetor devem ser tais que os fatores de correção  $C_r$  e  $C'_r$  são essencialmente os mesmos.

- A perda por inserção da barreira medida indiretamente,  $D'_{IL}$ , é dada por:

$$D'_{IL} = \Delta L_D - \Delta L_A$$

## 4. Caracterização e avaliação do ruído ambiente

### 4.1. Sonómetro e dosímetro

O equipamento mais utilizado na caracterização de um ruído ambiente é o Sonómetro com análise em frequência. O Sonómetro mede o nível de pressão sonora ponderado A, e permite assim a obtenção de um valor que corresponde à sensação com que o Ser Humano percebe o ruído em análise (Tomé, 2016).

Quando o Sonómetro possibilita a realização de análises em frequência, a avaliação do ruído é ainda mais precisa, já que para além da respetiva amplitude, também a sua “qualidade” fica determinada (Tomé, 2016).

Ainda segundo Tomé (2016), o sonómetro permite a obtenção de diversos indicadores de ruído, como os instantâneos, médios, estatísticos ou níveis percentis, máximos e mínimos. O sonómetro dependendo do seu grau de precisão é classificado em 4 graus de precisão. A saber: a classe 0 de elevada precisão para análises em laboratório; a classe 1 para Sonómetros Integradores de Precisão que são recomendados para avaliações de ruído; a classe 2 de utilização geral; e a classe 3 para medições sumárias.

Fazem parte do sonómetro vários módulos cujas funções são diversas. O microfone converte a variação da pressão que lhe chega num sinal elétrico, este sinal é depois amplificado no pré-amplificador, é filtrado pelos filtros de ponderação (filtros A, B ou outros) e segue para o detetor. Este último e importante módulo permite ao sonómetro efetuar a leitura do som mediante o modo de leitura escolhido, o tipo de leitura pode ser feito em intervalos de tempo diferentes isto é, tempos de resposta: *Slow*, *Fast* e *Impulse*. O tipo de leitura é condicionado pelo tipo de ruído que se pretende medir. O Regulamento Geral do Ruído recomenda o modo “*fast*” para caracterizar o ruído ambiente. No caso dos sonómetros integradores, tal como o nome indica, estes possuem um circuito integrador que permitem determinar o ruído equivalente, ou seja, o valor da energia sonora acumulada durante todo o período de medição possibilitando assim o cálculo do  $L_{eq}$  para o período de medição e do  $L_{max}$  e  $L_{min}$  registados no mesmo período. Por fim o nível de ruído e/ou os indicadores de ruído são gravados, e/ou registados, ou nos equipamentos mais rudimentares são simplesmente enviados para o display do sonómetro (normalmente digital) (Silva, 2008).

Referem-se de seguida as regras básicas, segundo o documento NP1996:2021 e Silva (2008), para uma medição acústica executada corretamente, estas regras são utilizar um tripé de suporte do sonómetro estável, numa altura ao solo de 1,2 a 1,5 m ou 4 m de altura para mapas de ruído. O afastamento das superfícies, deverá ser de 3 a 4 m de superfícies refletoras. A incerteza da medição deve sempre ser estimada e por isto, deve proceder-se à verificação e calibração periódica do sistema de medição de

forma garantir a conformidade com as especificações definidas nas normas. Deve ser utilizado também, um protetor de vento do microfone do sonómetro, que é indispensável em medições realizadas no exterior. Deve ser utilizado um microfone de exteriores, com monitorização permanente e/ou semipermanente, e com proteção anti-vento, anti-chuva e anti-pássaros. Os períodos de referência possuem as seguintes durações: período diurno, das 07h00 até as 20h00; o período do entardecer, das 20h até as 23h00; e o período noturno das 23h00 às 07h00. Os intervalos de tempo de medição devem permitir valores representativos, com medições em contínuo (duração do período de referência) ou por amostragem (duração superior a 10 minutos por amostra e duração total das amostras superior a 30 minutos).



Figura 10 – Sonómetro devidamente equipado



Figura 11 – Imagem mais pormenorizada do equipamento

As figuras 10 e 11 ilustram os equipamentos necessários para as medições do ruído ambiente.

Os dosímetros são outro tipo de aparelhos de medição da intensidade do ruído. Têm um funcionamento diferente do sonómetro, medindo uma dose de ruído, traduzida por uma percentagem, associada a um período temporal (normalmente, uma jornada de 8 horas de trabalho) (Tomé, 2016).

Os dosímetros utilizam-se para a medição da exposição pessoal diária pessoal. Na figura 12 está representado um dosímetro.



Figura 12 – Dosímetro (Filho *et al.* 2018)

#### 4.2. Avaliação do ruído recorrendo a modelos de previsão do ruído

Para além dos métodos existentes para medição do ruído, existe também, o método de previsão de ruído ambiental, que, segundo Silva (2008) e a OECD (1995), deve fornecer resultados que representem a situação real existente dos níveis de ruído sob quaisquer condições de emissão e propagação. Para isto, é necessário avaliar as emissões de ruído devido às várias fontes e avaliar a atenuação do ruído entre a fonte e o ponto de receção.

De um ponto de vista técnico, os métodos de previsão são melhores para determinar de forma contínua no espaço os níveis sonoros devidos ao tráfego rodoviário. Torna-se ainda possível gerar vários cenários com fluxos de tráfego diferentes, vários tipos de pavimento, etc. Por outro lado, os resultados oriundos de

medições dão-nos somente uma informação pontual sobre uma situação limitada em concreto – as condições específicas em que as medidas são feitas (Silva, 2008).

Para a estimativa do nível sonoro por um período longo, denominado a longo termo (LLT), o método tem em consideração as condições meteorológicas observadas localmente. Este nível LLT é obtido à custa da soma dos contributos energéticos dos níveis sonoros obtidos para as condições atmosféricas homogéneas (situação em que o gradiente vertical de velocidade do som é nulo) e favoráveis (situação em que aquele gradiente é positivo), ponderadas segundo a sua ocorrência relativa no local considerado. Nos períodos em que ocorrem condições atmosféricas desfavoráveis (situação em que o gradiente vertical de velocidade do som é negativo) são assumidos pelo método níveis sonoros correspondentes a condições homogéneas. Esta assunção majora de facto os níveis reais obtidos nestas condições de propagação, mas acaba por traduzir uma abordagem pelo lado da segurança (Berengier & Garai, 2000).

## 5. Metodologia

Apontando para o alcance dos objetivos delineados, o método utilizado nesta dissertação, depois da pesquisa, investigação e revisão bibliográfica, nacional e internacional, transpõe para trabalho de campo, mais precisamente a realização de medições através dos recursos disponíveis. A realização das medições foi efetuada através de sonómetros para a medição do ruído ambiente *in situ* e um software de análise de ruído. Este conjunto de observações permitirá a avaliação da absorção sonora de estruturas verdes urbanas e o método adotado permitirá avaliar e analisar o impacto das estruturas verdes, mais especificamente dos muros verdes no ruído urbano. Pretende-se quantificar *in situ* a redução do ruído e avaliar a absorção do mesmo com a implementação de estruturas verdes. Serão modelados e analisados a propagação do ruído na presença duma barreira acústica, a trajetória das ondas sonora do ruído e a perda por inserção. Para uma observação mais alargada foi realizada uma análise espectral do ruído.

Como mencionado anteriormente no desenvolvimento deste estudo, existem no mercado vários aparelhos que permitem realizar medições de som/ruído exterior. O sonómetro foi o aparelho selecionado para a realização das medições necessárias para a redação da parte prática desta dissertação.

Primeiramente, para escolha da localização foram estabelecidos alguns requisitos de forma que, posteriormente, se conseguisse analisar e reconhecer as diferenças que uma estrutura verde pode produzir, comparativamente com um muro sem vegetação. Um dos requisitos, foi que, no respetivo local, houvesse relativamente próximo no mesmo muro ou parede, uma fração com vegetação e outra sem qualquer estrutura verde, para conseguirmos analisar simultaneamente os resultados obtidos em locais expostos à mesma fonte de ruído. A fonte de ruído selecionada em análise neste estudo foi o ruído proveniente do tráfego automóvel, e por conseguinte, outro dos requisitos foi de que estas vias deveriam ter uma circulação frequente. Tendo em atenção este último requisito foi feita a contagem de automóveis em circulação.

## 6. Avaliação do impacto de muros verdes no ruído ambiente. Estudo de caso na cidade de Guimarães

O contexto espacial do município de Guimarães baseia-se no modelo policêntrico biocultural, no qual o Centro Histórico de Guimarães é o núcleo. O Centro Histórico foi reconhecido em diversas ocasiões: 2011 UNESCO World Heritage; 2012 Capital Europeia da Cultura; 2013 Cidade Europeia do Desporto; e, em 2015, a candidatura de Couros ao Património Mundial da UNESCO. Devido a este facto muitos prédios antigos e fábricas foram deslocalizados e alguns edifícios reconvertidos para novas funções tais como equipamentos focados nas Artes, Inovação, Educação e Sustentabilidade Ambiental. Em torno do núcleo urbano, gravitam as comunidades bio-culturais, cada uma com características particulares. Essas

comunidades estão ligadas por nexos naturais e artificiais tais como linhas de água, florestas, áreas verdes, redes rodoviárias que as ligam à área urbana ou ligando o município com outros municípios localizados nos limites. Cerca de 1/3 da população está localizada na área urbana onde a maioria dos serviços e equipamentos são implementados enquanto 2/3 está fora da aglomeração central onde se regista a principal atividade industrial.

Tendo como base para as medições, os requisitos referidos na metodologia, foram escolhidos dois locais em Guimarães para estudo de caso, onde foram feitas medições de ruído e posterior avaliação do efeito da vegetação na absorção do ruído:

- O primeiro local situa-se na Rua Padre António Caldas representado na figura 12. O muro em estudo encontra-se totalmente coberto por vegetação e metros ao lado encontra-se totalmente ausente de vegetação. Neste local a espécie da vegetação em estudo é conhecida como figueira trepadeira (*Ficus Pumila*).



Figura 13 – Imagem de satélite da Rua Padre António Caldas retirada do Google Maps



- O segundo ponto localiza-se na Rua Dr. Ricardo Marques representado na figura 13. O muro em estudo possui vegetação em quase toda a sua superfície, no entanto uma pequena parte encontra-se sem vegetação. A espécie vegetal em estudo é a Hera Inglesa (*Hedera Hélix L.*), uma planta trepadeira de crescimento rápido.

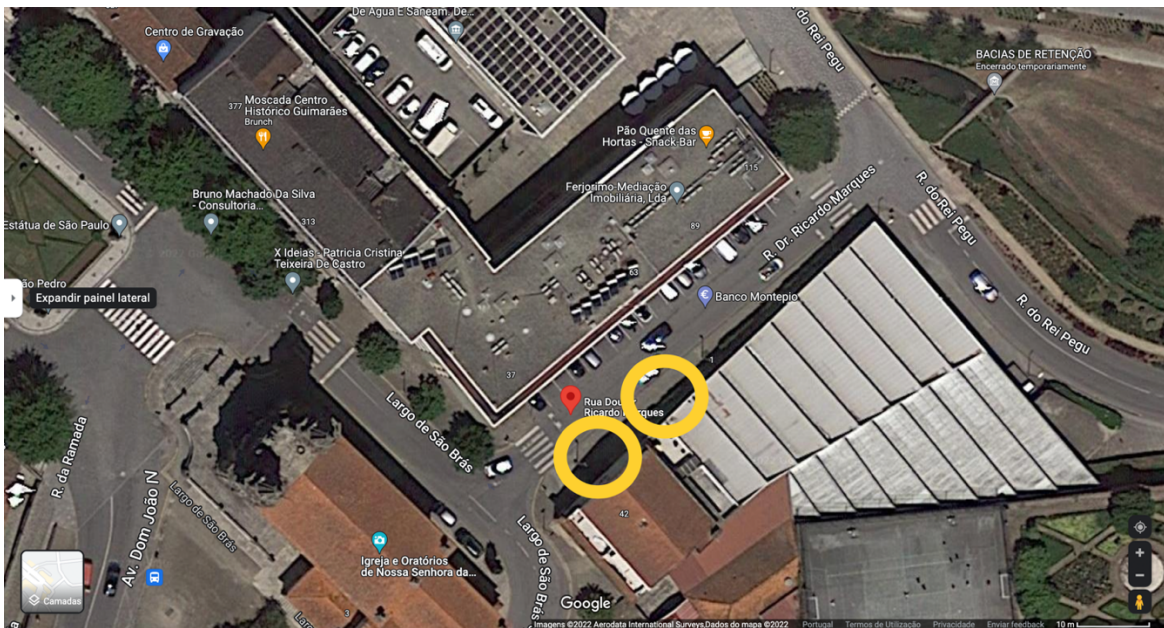


Figura 14 – Imagem de satélite da Rua Dr. Ricardo Marques retirada do Google Maps

Os níveis de pressão sonora foram medidos com recurso a dois sonómetros de Classe 1, munidos de para-vento, apoiado num tripé, a uma altura de 1,5 metros, afastado de superfícies e obstáculos a uma distância superior a 3,5 metros. O sonómetro utilizado no estudo de campo, 0,1dB CUBE, incorpora no seu equipamento um cartão de memória (SD Card de 2GB) que permitiu, numa fase inicial (antes de realizar medições de ruído ambiental), criar uma pasta intitulada “Ind\_RBF”, onde ficaram guardadas todas as gravações executadas.

Para a avaliação do ruído ambiental como estabelecido pelo RGR, a medição foi feita com a utilização de filtro de ponderação A, em frequências de 1/3 de oitava e considerando uma banda de frequências mais abrangente.

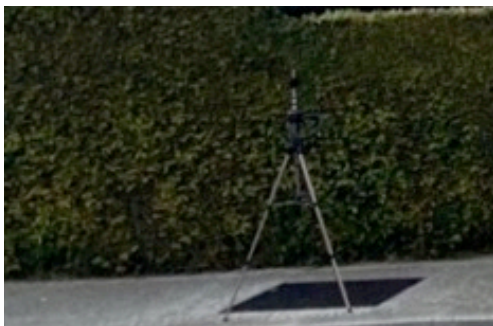
Depois de concluídas as medições, procedeu-se à análise espectral do ruído, dos quatro pontos escolhidos, cujos resultados serão apresentados nos próximos subcapítulos. Na fase final, a análise dos



valores obtidos nas áreas em estudo foi realizada com recurso a um software de alto desempenho para o processamento dos dados acústicos, vibratórios e meteorológicos gerados pelos principais sistemas de aquisição, o dBTRAIT. Assim, houve a necessidade de exportar os dados gravados através do sonómetro 01dB CUBE para o computador. Uma vez instalado o Software dBTrait, os dados contidos no SD Card, na pasta "Ind\_RBF" foram exportados para o computador, tendo sido depois analisados através da folha de cálculo do Excel.

Os sonómetros devidamente calibrados, foram posicionados em cada local a igual distância do muro e da fonte em estudo para medir o ruído que chega ao sonómetro (soma do ruído emitido diretamente da fonte e da reflexão das estruturas existentes na proximidade), ou seja, um posicionado em frente ao muro com vegetação e outro posicionado em frente a um muro sem vegetação. Os sonómetros foram calibrados, colocados em tripés com os protetores de vento dos microfones, numa altura do solo de 1,5 m e 1,5 m do muro. O período de medição ocorreu entre as 16h e as 19h.

As figuras 15 e 16 representam os dois sonómetros devidamente equipados executando medições síncronas cada um no seu respetivo ponto.

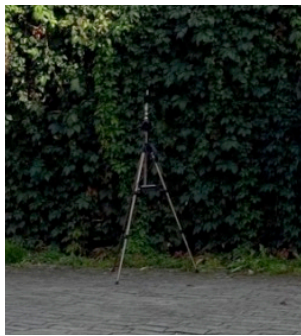


a)



b)

Figura 15 - Sonómetros devidamente equipados na Rua Padre António Caldas. (a) com vegetação, (b) sem vegetação.



a)



b)

Figura 16 - Sonómetros devidamente equipados na Rua Dr. Ricardo Marques. (a) com vegetação, (b) sem vegetação.

Foram realizadas duas medições consecutivas em cada local, cada medição com 15 minutos e foram contados os automóveis que passaram durante as medições. Posteriormente às medições foi utilizado o software dB Trait para fazer a análise dos dados obtidos com os sonómetros.

Ulteriormente, foi efetuada uma análise espectral do ruído nos mesmos locais expressos precedentemente, ou seja, nas duas ruas referidas, nos pontos com vegetação e nos pontos sem vegetação. O objetivo desta análise é observar se a vegetação tem maior absorção numa base de frequência específica.

## 7. Resultados obtidos e discussão

Após a medição do ruído nos dois locais de medição (com vegetação e sem vegetação) e número de veículos que circulavam na via em frente aos locais de medição, os dados foram organizados e descritos nas quatro tabelas que se seguem abaixo.

Os dados de ruído recolhidos foram os seguintes:

- Nível de ruído médio (Leq), mínimo (Lmin) e o máximo (Lmax);
- Espectro de frequências em bandas de 1/3 de oitava de cada período de medição.

Nas tabelas seguintes são indicados os Leq médios, Lmin e Lmáx e o número de veículos nas vias de influência.

Tabela 6 - Resultados das medições do ruído na Rua Padre António Caldas, sem vegetação

	Data /Período	Nível de Ruído Leq (dBA)			Nº de veículos
		Leq	Lmin	Lmáx	
<b>Primeira medição</b>	07.10.2022 16h38 - 16h54	67.1	40.8	86.9	352/h
<b>Segunda medição</b>	07.10.2022 16h54 - 17h10	67.4	41.5	86.5	384/h

Tabela 7 - Resultados das medições do ruído na Rua Padre António Caldas, com vegetação

	Data /Período	Nível de Ruído Leq (dBA)			Nº de veículos
		Leq	Lmin	Lmáx	
<b>Primeira medição</b>	07.10.2022 16h35 - 16h51	66.6	40.1	87.7	352/h
<b>Segunda medição</b>	07.10.2022 16h51 - 17h07	66.5	40.4	83.2	384/h

Tabela 8 - Resultados das medições do ruído na Rua Dr. Ricardo Marques, sem vegetação

	Data /Período	Nível de Ruído Leq (dBA)			Nº de veículos
		Leq	Lmin	Lmáx	
<b>Primeira medição</b>	07.10.2022 17h29 - 17h45	64.9	52.9	78.8	596/h
<b>Segunda medição</b>	07.10.2022 17h45 - 18h01	65.0	54.1	77.7	712/h

Tabela 9 - Resultados das medições do ruído na Rua Dr. Ricardo Marques, com vegetação

	Data /Período	Nível de Ruído Leq (dBA)			Nº de veículos
		Leq	Lmin	Lmáx	
<b>Primeira medição</b>	07.10.2022 17h27 - 17h43	65.7	51.8	81.0	596/h
<b>Segunda medição</b>	07.10.2022 17h43 - 17h59	64.9	52.7	82.0	712/h

A análise e discussão dos valores obtidos será feita em duas fases, inicia-se por fazer uma análise do impacto das estruturas verdes no ruído ambiente em termos dos indicadores Leq, Lmin e Lmáx. Depois faz-se uma análise do impacto das estruturas verdes no ruído ambiente em termos do espectro de frequências, como citado por vários autores, como por exemplo, Silva (2008) as estruturas verdes têm diferente eficiência de absorção acústica ao longo do espectro de frequências.

Fazendo uma análise dos dados obtidos nas tabelas anteriores, e no seguimento de uma observação dos dados dos Leq de nível do ruído em relação ao nível de ruído, é entendido que a quantidade de carros que circulou nas vias durante as medições não alterou significativamente os níveis de ruído médios. Todavia os valores de Leq são ligeiramente mais baixos na Rua Padre António Caldas, é de assinalar que, nesta rua, cruzaram menos veículos, como anunciado nas tabelas 6 e 7. Posto isto, os valores de Lmin apresentam valores mais baixos neste local do que no segundo local, como está exposto nas tabelas, existindo uma diferença de cerca de 12 dBA em média. Esta grande diferença de valores, pode

estar explicada nos intervalos de tempo em que as vias de trânsito estavam desocupadas, que foi uma diferença notória entre os dois locais, visto que, o segundo local tinha raramente as vias de trânsito desocupadas. Os valores de  $L_{max}$  são superiores na Rua Padre António Caldas, o que pode dever-se ao facto de os veículos circularem a maior velocidade gerando mais ruído.

Os valores dos  $Leq$  são menores nos pontos com presença de vegetação, em  $\frac{3}{4}$  das medições como observável nas tabelas anteriores. Na Rua Padre António Caldas a vegetação era mais densa do que na Rua Dr. Ricardo Marques, e cobria quase 100% do muro. Posto isto, o coeficiente de absorção aumenta, o que pode justificar a diferença considerável dos valores dos indicadores  $Leq$  com e sem vegetação para as duas ruas.

Comparando os pontos com e sem vegetação quanto aos valores do indicador  $L_{min}$  nas tabelas anteriores, é considerado que há algum impacto, no entanto, é referido por alguns autores, como Wong *et al.* (2010), que a atenuação do ruído é considerável para altas frequências. O mesmo autor indica que, quando a frequência do som é baixa, o efeito é quase inexistente.

Os valores do indicador  $L_{max}$  foram inesperadamente superiores nas medições feitas nos pontos com vegetação em  $\frac{3}{4}$  das medições, possivelmente devido à existência de interferências provenientes de outras fontes de ruído presentes nas proximidades. Isto pode dever-se ao tipo de ruído, pois o tráfego rodoviário constitui uma fonte de poluição sonora forte. Estes valores podem ser melhorados com a otimização da vegetação, como referido previamente.

O impacto das estruturas verdes no ruído ambiente é obtido através do cálculo da diferença do ruído recebido nos sonómetros (com e sem vegetação) nos dois locais em estudo. Por simplificação, é assumido que o ruído que chega ao ponto recetor (sonómetro) emitido diretamente pela fonte é igual nos pares síncronos dos pontos com e sem vegetação. Assim poder-se-á assumir que a diferença obtida nestes pares está relacionada com as reflexões existentes no muro despido e com a ausência de reflexão, isto é, com o efeito de absorção decorrente da presença da estrutura verde que reveste o muro.

As duas tabelas abaixo apresentam o impacto obtido no ruído ambiente decorrente da vegetação nos dois locais avaliados.

Tabela 10 - Resultados das medições do ruído nos pontos da Rua Padre António Caldas

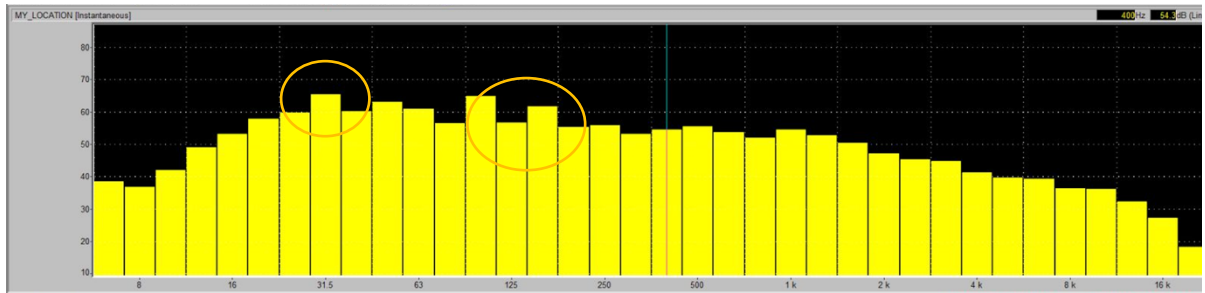
	<b>Nível de Ruído Leq (dBA)</b>		<b>Impacto da vegetação</b>
	Sem vegetação	Com vegetação	Leq (dBA)
<b>Primeira medição</b>	67.1	66.6	-0.5
<b>Segunda medição</b>	67.4	66.5	-0.9
<b>Média</b>	67.3	66.6	-0.7

Tabela 11 - Resultados das medições do ruído nos pontos da Rua Dr. Ricardo Marques

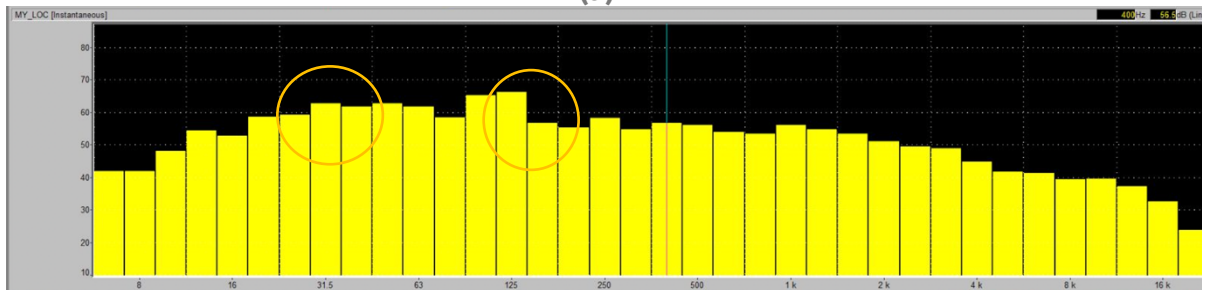
	<b>Nível de Ruído Leq (dBA)</b>		<b>Impacto da vegetação</b>
	Sem vegetação	Com vegetação	Leq (dBA)
<b>Primeira medição</b>	64.9	65.7	+0.8
<b>Segunda medição</b>	65.0	64.9	-0.1
<b>Média</b>	65.0	65.3	0.4

Atentando nas tabelas 10 e 11, é considerável o impacto positivo da vegetação na Rua Padre António Caldas, tendo em conta que a vegetação atenuou o ruído em ambas as medições, obtendo valores de pressão sonora mais baixos e causando em média uma diminuição de 0,7 dBA. Na Rua Dr. Ricardo Marques a vegetação não proporcionou resultados positivos na primeira medição e teve um impacto mínimo na segunda medição, originando uma média quanto ao impacto da vegetação de 0,4 dBA. Como referido anteriormente, nesta rua a vegetação não era tão densa como no ponto com vegetação da primeira rua, o que pode estar na origem destes valores.

Nas figuras seguintes ilustram-se os espectros de frequência do ruído medido na Rua Padre António Caldas com vegetação e sem vegetação e na Rua Dr. Ricardo Marques com vegetação e sem vegetação.

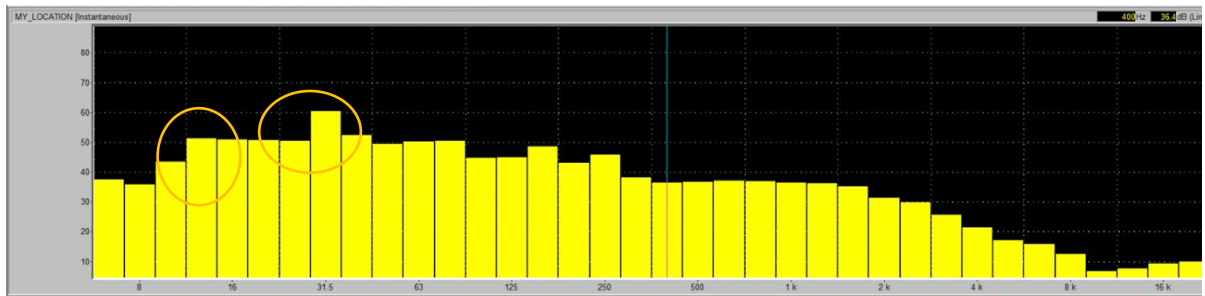


(a)

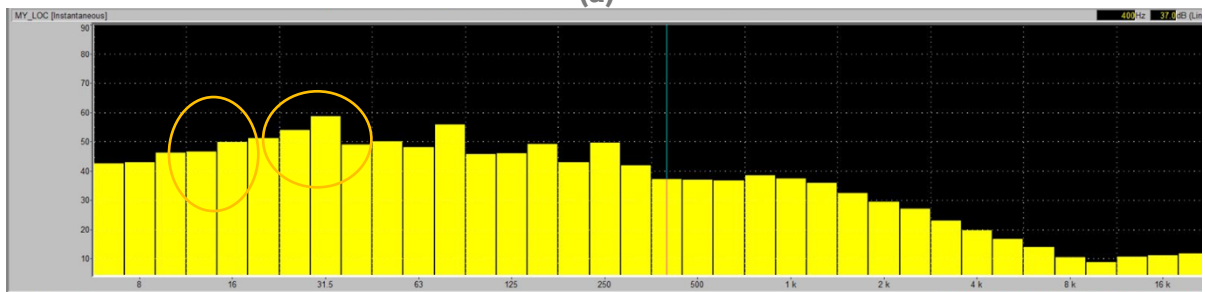


(b)

Figura 17 - Análise espectral do ruído, primeira medição, Rua Padre António Caldas, sem vegetação(a) e com vegetação (b)

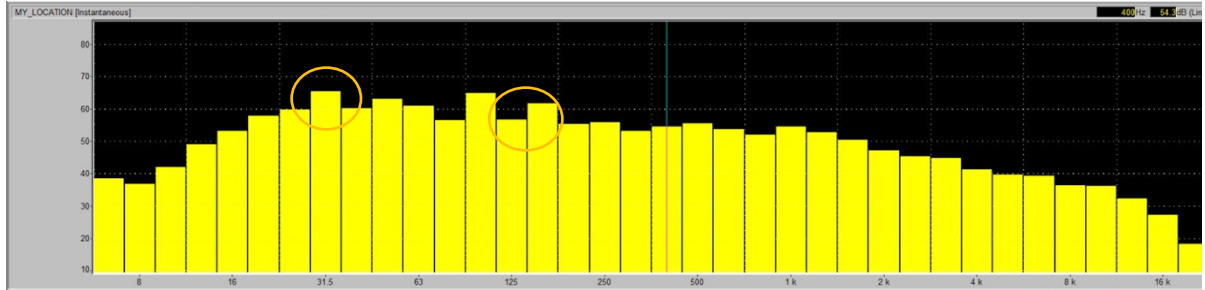


(a)

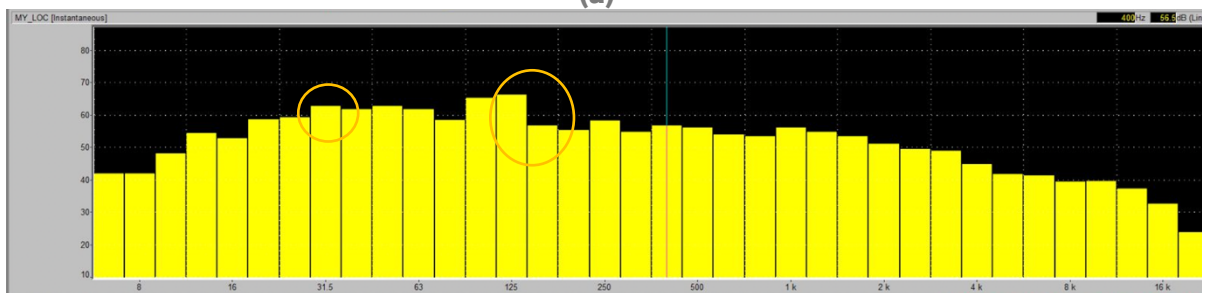


(b)

Figura 18 - Análise espectral do ruído, segunda medição, Rua Padre António Caldas, sem vegetação(a) e com vegetação (b)

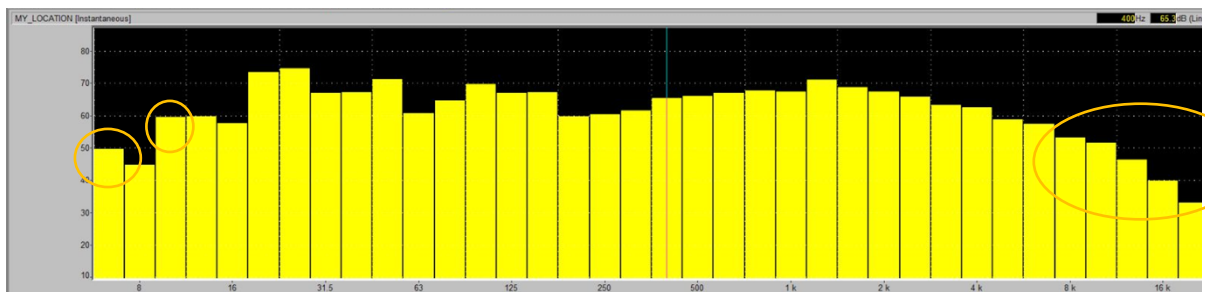


(a)

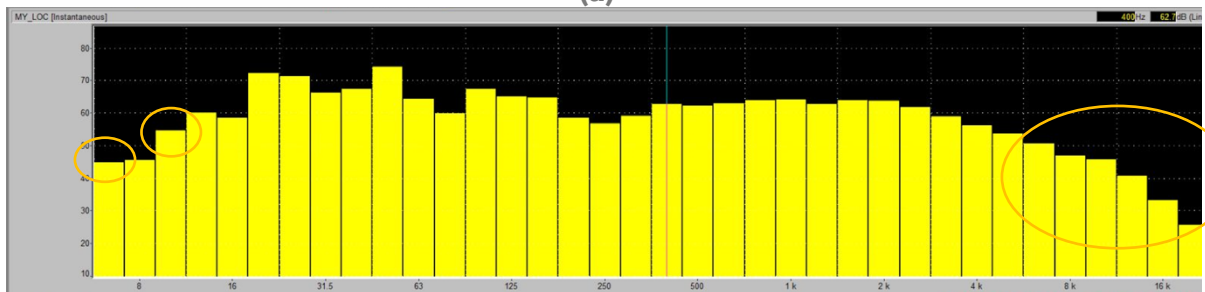


(b)

Figura 19 - Análise espectral do ruído, primeira medição, Rua Dr. Ricardo Marques, sem vegetação(a) e com vegetação (b)



(a)



(b)

Figura 20 - Análise espectral do ruído, segunda medição, Rua Dr. Ricardo Marques, sem vegetação(a) e com vegetação (b)



Estabelecendo uma comparação entre os espectros de frequência das medições síncronas com e sem vegetação verificamos o seguinte:

- Na primeira medição, no local 1 (Rua Padre António Caldas) com a introdução da vegetação, verifica-se uma redução do nível de ruído mais notório nas bandas de frequência 31,5 Hz e 125 Hz, nas bandas assinaladas no gráfico da Figura 17. No entanto, nas baixas e altas frequências esse decréscimo não se faz observar.
- Na segunda medição, no local 1 (Rua Padre António Caldas) com a introdução da vegetação, verifica-se uma redução do nível de ruído, mais acentuado nas baixas frequências, particularmente nas bandas 16 Hz e 31,5Hz. No entanto, verifica-se que algumas bandas se mantiveram constantes e outras aumentaram ligeiramente com a introdução da vegetação, como se pode observar nas bandas assinaladas no gráfico da Figura 18.
- Na primeira medição, no local 2 (Rua Dr. Ricardo Marques) com a introdução da vegetação, verifica-se uma redução do nível de ruído em algumas bandas de frequência, nas bandas assinaladas no gráfico da Figura 19. No entanto, nas baixas e altas frequências esse decréscimo não se faz observar.
- Na segunda medição, no local 2 (Rua Dr. Ricardo Marques) com a introdução da vegetação, verifica-se uma redução do nível de ruído, mais ou menos constante ao longo de todo o espectro. No entanto, nas baixas e altas frequências esse decréscimo é mais notório como se pode observar nas bandas assinaladas no gráfico da Figura 20.

## 8. Conclusões e trabalhos futuros

Com este estudo que teve como objetivo perceber qual o papel das estruturas verdes na mitigação do ruído urbano, concluiu-se que existem vários fatores que influenciam esta possível mitigação.

Foram realizadas medições num estudo de caso na cidade de Guimarães e foram obtidos resultados em que é observável, porém, não muito relevante, o impacto da vegetação na mitigação do ruído. É importante referir que esta pequena diferença pode dever-se ao facto de que as medições foram efetuadas tendo em conta a reflexão e que nestes pontos em específico as plantas não foram instaladas propositadamente com o intuito de diminuir o ruído, logo não seguem algumas indicações que deveriam ser adotadas se o objetivo fosse esse, como o caso da não existência de substrato/terra vegetal. As estruturas verdes estruturadas tratam -se de muros com vegetação de diferentes espécies e com diferente densidade. Os resultados da análise espectral revelam uma diferença positiva quanto à presença de vegetação, visto que, os gráficos das medições nos pontos com presença de vegetação revelam bandas de frequência menores.

Os resultados obtidos são satisfatórios, tendo em conta que, realmente a vegetação fez uma diferença positiva em generalidade nos valores observados. Como referido anteriormente a vegetação estava implementada nestes locais, contrariamente a isto, a vegetação implementada nas estruturas previamente projetadas e definidas para o fim de reduzir o ruído podem exibir melhor eficiência. Isto pode depender, como delineado anteriormente, por exemplo, das plantas específicas e do seu sistema evolutivo, da folhagem específica e da sua densidade. Considera-se que com estes sistemas de vegetação devidamente implementados e com o propósito de redução de ruído os resultados seriam melhores.

O ruído é uma problemática com a qual deveria haver mais alerta e procura pela mitigação do mesmo, sendo que, o objetivo superior é o melhoramento da qualidade de vida da população nas áreas urbanas. Depois desta investigação podemos concluir que a vegetação é um bom método a ser implementado nas áreas urbanas quando o objetivo é a diminuição do ruído.

Inerentemente a este estudo, é relevante referir que o mestrado em engenharia urbana possibilitou a aquisição de conhecimento e obtenção de bases significantes para a realização deste estudo, considerando que sobretudo a unidade curricular de gestão ambiental urbana introduziu temas que aqui foram supracitados e inquiridos.

Considerando trabalhos que poderiam ser realizados no futuro para alargamento do conhecimento nesta área de estudo, seria importante haver mais casos de estudo. Seria relevante haver mais análises com fontes de ruído diferentes e principalmente com uma fonte de ruído omnidirecional. Isto porque analisando o comportamento destas estruturas sendo a fonte de ruído o tráfego e num contexto

enquadrado na cidade, haverá sempre outros ruídos presentes que podem não ser favoráveis para a análise. Uma análise significativa seria utilizar estruturas desenvolvidas para o efeito, com plantas e um sistema específico, um modelo que apresentaria bons resultados.

## Referências Bibliográficas

- Amorim, A. F. F. F. (2015). *A vegetação na envolvente exterior dos edifícios: impactos, condicionantes e estratégias de intervenção ecoeficientes*. RepositóriUM – Universidade do Minho.
- Aragão, A. (2011). *Coberturas Verdes - Um Passo para a sustentabilidade*. Porto: Faculdade de Arquitetura do Porto.
- Arenas, C., Vilchez, L.F., Leiva, C.H., Rodríguez-Galán, M. (2013). Use of co-combustion bottom ash to design an acoustic absorbing material for highway noise barriers. *Waste Manag.* 33, 2316–2321.
- Aspinall, P.; Panagiotis, M.; Richard, C.; Jenny, R. *The urban brain: Analyzing outdoor physical activity with mobile EEG*. *Br. J. Sport Med.* 2013, doi:10.1136/bjsports-2012-091877.
- Atchley, R.A.; Strayer, D.L.; Atchley, P. (2012). *Creativity in the wild: Improving creative reasoning through immersion in natural settings*. *PLoS One.* 7, e51474.
- Azkorra, Z., Pérez, G., Coma, J., Cabeza, L.F., Bures, S., Álvaro, J.E., Urrestarazu, M. (2015). Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. *Appl. Acoust.* 89, 46–56.
- Beatley T., Newman P., (2013). *Biophilic Cities Are Sustainable, Resilient Cities*. *Sustainability* ISSN 2071-1050.
- Berengier, M., Garai, M. (2000). *Propagazione del Rumore da Traffico Veicolare*. *Proc. of the Atti. Convegno Nazionale Traffico e Ambiente 2000, Progetto Trento Ambiente: Trento, Italia*, p. 49-62.
- Biscaro, G. A.; Oliveira, A. C. (2014). *Sistemas de Irrigação Localizada*. Dourados: Ed. UFGD. Cap.4.
- Barbosa, M. C.; Fontes, M. S. G. de C. (2016). *Jardins verticais: modelos e técnicas*. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP*, v. 7, n. 2, p. 114-124, jun. 2016. ISSN 1980-6809.
- Daltrop, S., Hodgson, M., Wakefield, C. (2012). *Field investigation of the effects of vegetation on the performance of roadside noise barriers*. *Noise Control Eng. J.* 60 (2), 202–208.
- Defrance, J., Jean, Philippe. Koussa, Faouzi. Van Renterghem, T. Kang, J. Smyrnova, Yuliya. (2014). In: Nilsson, M., Bengtsson, J., Klæboe, R. (Eds.), *Innovative Barriers in Environmental Methods for Transport Noise Reduction*. CRC Press, pp. 19–47.
- DeVries, S.; Verheij, R.A.; Groenewegen, P.P.; Spreeuwenberg, P. (2003). *Natural environments—healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health*. *Environ. Plan. A.* 35, 1717–1731.
- Dunnett, N., Kingsbury, N. (2004). *Planting Green Roofs and Living Walls*, Vol. 254. Timber Press, Portland, OR.
- Dzhambov, Angel M., Dimitrova, Donka D. (2015). *Green spaces and environmental noise perception*. *Urban For. Urban Green.* 14 (4), 1000–1008.

- Ekici, I., Bougdah, H. (2003). *A review of research on environmental noise barriers. Build. Acoust.* 10 (4), 289–323.
- Farr, D. (2013). *Urbanismo Sustentável - Desenho urbano com a Natureza. Rio Grande do Sul - Brasil: Bookman.*
- Filho, N., Morais M., Nunes M., Oliveira, A. (2010). *Development of an educational impedance tube: Experimental vibroacoustic characterization. The Journal of the Acoustical Society of America.*
- Filho, S., Fernandes R., Serra G., Melo G., Mesquita A. (2018). *Avaliação da Proteção Auditiva para Ruído Emitido por Helicóptero*
- Florentino, C. (2011). *Jardins Verticais, Uma Alternativa Ecológica. Lisboa: Arte & Construção.*
- Garrido, L. D. (2011). *Artificial Nature Architecture. Monsa.*
- Gerhardt, C., Vale, B. (2010). *Comparison of Resource Use and Environmental. New Zealand: School of Architecture, Victoria University of Wellington.*
- Groult, J. (2008). *Créer un mur végétal en intérieur & en extérieur. Paris: Ulmer.*
- Hadba L., Mendonça P., Silva L.T. (2019). *Functional Conditioning Systems for Urban Environments - Regarding Hygrothermal Comfort, Air and Noise Pollution, in Sustainable technologies for the enhancement of the natural landscape and of the built environment, Ed: De Joanna P., Passaro A., pp 385-416, ISBN: 978-88-6026-254-7.*
- Hanson, D., James, S., Nesmith, C. (2004) *Tire/pavement noise study. Auburn: NCAT - National Center for Asphalt Technology. 04-02, 2004. 44 p.*
- Hartig, T., Mang, M., Evans, G.W. (1991). *Restorative effects of natural environmental experience. Environ. Behav.* 33, 3–26.
- Herschong, L., Roger, W., Stacia, O. (2002). *Daylighting impacts on human performance in schools. J. Illum. Eng. Soc. Summer.* 31, 101–114.
- Hodgson, M., Daltrop, S., Peterson, R., Benedict, P. (2013). *Compliance and vegetated-barrier acoustical testing in a purpose-built sound-transmission suite. Noise Control Eng. J.* 61 (5), 481–486.
- Horoshenkov, K.V., Khan, A., Benkreira, H. (2013). *Acoustic properties of low growing plants. J. Acoust. Soc. Am.* 133 (5), 2554–2565.
- Hurstwic. *The Houses in the Viking Age.*
- Instituto Português da Qualidade. *NP ISO 108447 (2021). Acústica - Determinação in situ da perda por inserção de barreiras acústicas exteriores de qualquer tipo.*
- Irwin, G. (2008). *Green walls archives.*

- ISO, 140-5: *Measurement of sound insulation in buildings and of building elements, part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*, in: ISO, International Organization for Standardization, 1998, pp. 1-24.
- Kalansuriya, C.M., Pannila, A.S., Sonnadara, D.U.J. (2009). *Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels. Institute of Physics–Sri Lanka In: Proceedings of the Technical Sessions, 25, pp. 1–6.*
- Leather, P., Pyrgas, M., Beale, D., Lawrence, C. (1998). *Windows in the workplace: Sunlight, views, and occupational stress. Environ. Behav. 30, 739–762.*
- Lunain, D. (2013). *Innovation et Normalisation. Ecrans urbains. Efficacité acoustique d'un mur vegetal: Site experimental de Cergy Pontoise.*
- Madureira, H. (2012). *Infraestrutura verde na paisagem urbana contemporânea: o desafio da conectividade e a oportunidade da multifuncionalidade. Revista da Faculdade de Letras. Geografia. vol. I. 33-43.*
- Magalhães, M. R. (1992). *Espaços verdes urbanos. Lisboa, Direção Geral do Ordenamento do Território.*
- Mangone, G., Van Der Linden, K. (2014). *Forest microclimates: Investigating the performance potential of vegetation at the building space scale. Building and Environment. 73: 12-23.*
- Manso, M., Castro Gomes, J. (2015). *Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews.*
- Marks, A., Griefahn, B. (2007). *Associations between noise sensitivity and sleep, subjectively evaluated sleep quality, annoyance, and performance after exposure to nocturnal traffic noise. Noise Health 1-7.*
- Martins, M., Hadba L., Mendonça P., Silva L. T. (2021). *Evaluating the potential of vegetation to capture pollutants in urban environment. School of Engineering, Civil Engineering Department, CTAC. University of Minho. School of Architecture, Art and Design.*
- Middelie, G. (2009). *Minor stedelijke beplanting.*
- MIND. (2007) *Ecotherapy: The Green Agenda for Mental Health; MIND: London, UK.*
- Mir, M. (2011). *Green Façades and Building Structures. Delf: Delft University Of Technology.*
- Mitchell, R.; Popham, F. (2008). *Effect of exposure to natural environment on health inequalities: An observational population study. Lancet. 373, 1655–1660.*
- Neto, J. G. *Irrigação para Paredes Verdes. Rain Bird.*
- Nielsen, T.S.; Hansen, K.B. (2007). *Do green areas affect health? Results from a danish survey on the use of green areas and health indicators. Health Place. 13, 839–850.*

- OECD. (1995). *Roadside Noise Abatement, Organisation for Economic Co-operation and Development Publications, Paris.*
- Ottelé, M. (2011). *The Green Building Envelope - Vertical Greening.*
- Park, S.B., Seo, D.S., Lee, J. (2005). *Studies on the sound absorption characteristics of porous concrete based on the content of recycled aggregate and target void ratio. Cem. Concr. Res. 35, 1846-1854.*
- Pérez, G., Coma, J., Barreneche, C., Gracia, A., Urrestarazu, M., Burés, S., Cabeza, L. F. (2016). *Acoustic insulation capacity of vertical greenery systems for buildings, Applied Acoustics. 110, 218-226.*
- Perini, K., Magliocco, A. (2012). *The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces. International Journal of Biology, 4(2).*
- Perini, K., Ottelé, M., Fraalji, A. L. A., Haas, E. M., Raiteri, R. (2011). *Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. Building and Environment. 46:11. 2287-2294.*
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., Raiteri, R. (2011). *Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. Journal of Ecology. 1:1-8.*
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., Raiteri, R. (2013). *Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. Urban Ecosystems. 16:2. 265-277.*
- Perini, K.; Rosasco, P. (2013). *Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. Building and Environment. 70: 110-121.*
- Quintas, A. V. (2014). *Génese e evolução dos modelos de Estrutura Verde Urbana na estratégia de desenvolvimento das cidades. Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa.*
- Raposo, M. M. (2015). *O potencial das Infraestruturas Verdes Verticais na requalificação urbana. Caso de estudo Cidade de Lisboa. RUN – Repositório da Universidade Nova de Lisboa.*
- Salvo, R., Mairink, M., Oliveira, E., Teodoro, E. (2005). *Construção de um tubo de impedância. Faculdade de Engenharia Mecânica.*
- Santos, F. (2017). *Uso de Vegetação na Envoltura Vertical dos Edifícios. Porto: Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.*
- Scherer, M. J., Fedrizzi, B. M. (2014). *Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, 2(2), 49-61.*
- Silva, L. T. (2008). *Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana. PhD Thesis. Universidade do Minho. Braga. Portugal.*

- Specht, L. P., Kohler, R., Pozzobon, C. E., & Callai, S. C. (2009). Causas, formas de medição e métodos para mitigação do ruído decorrente do tráfego de veículos. Rev. Tecnol. Fortaleza. v.30, n.1, p.12-26.*
- Tomé, A. P. F. (2016). Aaliação da Exposição dos Trabalhadores ao Ruído. Universidade da Beira Interior.*
- Ulrich, R. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. Science. 224, 421.*
- Van den, B.; Agnes, E.; Hartig, T.; Straats, H. (2007). Preference for nature in urbanized societies: Stress, restoration and the pursuit of sustainability. J. Soc. Issues. 63, 88–89.*
- Van Renterghem, T., Hornikx, M., Forssén, J., Botteldooren, D. (2013). The potential of building envelope greening to achieve quietness. Building and Environment. 61 34-44*
- Vallet, M., Gagneux, J., Clairet, J. (1983). Heart rate reactivity to aircraft noise after a long-term exposure. Noise as a Public Health Problem. Milan: Centro Recherche e Studio Amplifon.*
- Van H., Wiedemann. (2003). A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces. Department of Human Ecology, Free University Brussels, Laarbeeklaan.*
- Vialard, N. (2010). Jardinons à la verticale. França: Editions Rustica.*
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. Building and Environment, 45(2), 411-420.*