



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Civil



**Qualidade do ar interior e bem-estar: o impacte de uma
estrutura verde natural numa sala de aula**

TERESA CRISTINA C. G. A. DE MIRANDA
Licenciada em Engenharia Civil

Dissertação de natureza científica para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil, na Área de Especialização de Edificações

Orientadoras:

Professora Doutora Maria Idália da Silva Gomes, ISEL-IPL
Professora Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues, ISEL-IPL

Júri:

Presidente: Professor Doutor Filipe Manuel Vaz Pinto Almeida Vasques, ISEL-IPL

Vogais:

Licenciado, Especialista (IPL) Jorge Manuel Grandão Lopes, ISEL-IPL
Professora Doutora Maria Idália da Silva Gomes, ISEL-IPL

Outubro de 2022

Agradecimentos

A realização deste trabalho obriga-me a um sincero e profundo agradecimento a Todos os que para ele contribuíram.

Às Professoras Maria Idália Gomes e Maria Alexandra Rodrigues, docentes do ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e orientadoras desta dissertação, pela infinita disponibilidade, dedicação, motivação e confiança depositada neste trabalho, e por todo o esforço desenvolvido para garantir as condições e meios necessários à sua realização.

À Professora Sibila Marques, investigadora no Centro de Investigação e de Intervenção Social e Professora Auxiliar no ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa, e ao seu aluno de doutoramento Rafael Ribeiro, pelo apoio no desenvolvimento e tratamento dos questionários aplicados neste estudo.

Ao Professor Vítor Silva, da Área Departamental de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores do ISEL, pela sua disponibilidade e colaboração.

Ao ISEL, pelo financiamento do Projeto GreenAir.

Ao Instituto Politécnico de Lisboa, pelo financiamento do Projeto IPL/2021/RESpira_ISEL.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo financiamento do projeto UIDB/04625/2020 na unidade de pesquisa CERIS.

Ao João Farinha, pela cuidadosa e rigorosa revisão do documento.

À minha família e amigos, pela compreensão perante as ausências e pelo apoio incondicional.

Aos meus sobrinhos, Maria Margarida e José Afonso, pela alegria incansável e contagiante.

Ao João, ao Luís e ao Carlos, resistentes e assíduos companheiros destes últimos dez anos de ISEL.

Resumo

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, uma boa qualidade do ar é um requisito básico para a vida, sendo um fator determinante para a saúde e bem-estar dos ocupantes de espaços interiores. Nas escolas, e devido às complexas e diversificadas atividades desenvolvidas, para além dos efeitos adversos na saúde, a qualidade do ar interior (QAI) pode também ter um impacto direto no desempenho e bem-estar dos estudantes. Uma boa qualidade do ar interior pode ser assegurada, entre outras medidas, através da utilização de plantas com capacidade de absorver os contaminantes interiores. Para além da melhoria da qualidade do ar interior, as plantas têm ainda inúmeras vantagens ao nível do desempenho e bem-estar dos ocupantes.

O presente estudo teve como objetivo verificar o impacto da instalação de uma estrutura verde natural (EVN) na qualidade do ar interior de uma sala de aula no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, através da monitorização pontual de diversos parâmetros químicos e físicos (compostos orgânicos voláteis totais (COV_T), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão no ar (PM_{10} e $PM_{2,5}$), temperatura (T) e humidade relativa (HR)), e da avaliação do bem-estar, através da aplicação de questionários aos alunos. Os resultados das medições pontuais de QAI permitiram verificar que, apesar da existência de alguns incumprimentos, a qualidade do ar interior das salas é, de um modo geral, aceitável, e que, após a instalação da EVN, houve um ligeiro decréscimo das concentrações COV_T , CO_2 e $PM_{2,5}$, o que parece sugerir uma fraca, mas positiva influência da EVN na QAI da sala. A fraca influência da EVN poderá dever-se a condições que não foram possíveis controlar no estudo, como a abertura e fecho das janelas e portas, que contribuíram para o arejamento das salas e, por consequência, para a melhoria das condições ambientais interiores. Por sua vez, os resultados dos questionários aplicados, permitiram verificar um efeito bastante positivo da EVN na perceção dos alunos em relação à sala, na redução dos níveis de ansiedade e na diminuição dos sentimentos negativos.

Apesar das diversas limitações do estudo, acredita-se que este trabalho constitui um contributo de grande relevância para uma primeira abordagem ao estudo da qualidade do ar interior em contexto universitário, e que ajudará a destacar a importância das EVN nas salas de aula, quer para a melhoria da QAI, como para o bem-estar dos seus ocupantes, e a considerá-las como uma estratégia económica e ambientalmente sustentável, para a melhoria da qualidade do ar interior.

Palavras-chave: qualidade do ar interior, estruturas verdes naturais, edifícios universitários, efeitos na saúde, bem-estar.

Abstract

According to the World Health Organization, a good air quality is a basic requirement for life, and is a determining factor for the health and well-being of occupants in indoor spaces. In schools, and due to the complex and diversified activities carried out, in addition to the adverse effects on health, indoor air quality (IAQ) can also have a direct impact on student's performance and well-being. Despite other measures, a good indoor air quality can be achieved by the use of plants, capable of absorbing indoor contaminants. Moreover, plants also have numerous benefits in terms of performance and occupant's well-being.

This study investigated the effect of a natural green system (NGS) in the indoor air quality of a classroom in Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, by measuring different chemical and physical parameters (total volatile organic compounds (TVOC), carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), particulate matter (PM₁₀ e PM_{2.5}), temperature (T) and relative humidity (RH), and through the evaluation of student's well-being, with questionnaires. The IAQ measurements indicated that, despite the existence of some non-compliances, the indoor air quality of the rooms was acceptable, and, after NGS installation, there was a slight decrease in the TVOC, CO₂ and PM_{2.5} concentrations, which seems to suggest a weak but positive influence of the NGS in the classroom IAQ. The weak influence of the NGS may be related to conditions that were not possible to control in the study, such as window and door opening and closing, which contributed to improve the rooms ventilation, and consequently, to improve internal environmental conditions. The questionnaires showed a strong positive effect of the natural green system on the student's perception about the classroom, in the reduction of anxiety levels and in the reduction of negative feelings.

Despite the various limitations of the study, it is believed that this work constitutes a highly relevant contribution to a first approach to the study of IAQ in a university context, and that will be a great help to highlight the importance of NGS in classrooms, either for the improvement of the IAQ and for student's well-being, and to consider them as an economically and environmentally sustainable strategy to improve indoor air quality.

Keywords indoor air quality, living walls, natural green systems, universities, health effects, well-being.

Índice geral

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos e metodologia.....	3
1.3. Organização do documento.....	4
2. Qualidade do ar interior nos edifícios escolares	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Poluentes do ar interior e respetivos valores limite.....	8
2.3. Poluentes do ar interior e os seus efeitos na saúde	12
2.4. Enquadramento legal no âmbito da qualidade do ar interior	15
3. A influência das estruturas verdes naturais na qualidade do ar interior e bem-estar dos ocupantes	19
3.1. Introdução.....	19
3.2. A influência das EVN na qualidade do ar interior	21
3.3. A influência das EVN no bem-estar e desempenho dos ocupantes	26
4. Caso de estudo	29
4.1. Introdução.....	29
4.2. Caracterização dos locais de estudo.....	30
4.3. Fases do estudo.....	31
4.4. Implementação da estrutura verde natural	33
4.5. Monitorização da qualidade do ar interior.....	36
4.6. Avaliação do bem-estar dos alunos.....	39
5. Análise e discussão dos resultados.....	43
5.1. Monitorização da qualidade do ar interior.....	43
5.2. Avaliação do bem-estar dos alunos.....	60
6. Conclusões e trabalhos futuros	67
6.1. Conclusões	67
6.2. Trabalhos futuros.....	69
Referências bibliográficas.....	71

Anexos

Índice de figuras

Figura 2.1 Sistematização cronológica da regulamentação comunitária e nacional relativa à qualidade do ar interior.....	15
Figura 2.2 Evolução dos parâmetros que caracterizam a qualidade do ar interior e respetivos limiares de proteção.....	17
Figura 3.1 Sistemas comuns de paredes verdes	19
Figura 3.2 Exemplo de uma fachada verde instalada numa habitação particular na Golegã	19
Figura 3.3 Parede verde interior: a) <i>Caixa Fórum, Valência</i> ; b) <i>El Corte Inglés Lisboa</i>	20
Figura 3.4 Tipos de sistemas de paredes verdes	20
Figura 3.5 Plantas estudo NASA: a) <i>Gerbera jamesonii</i> ; b) <i>Hedera hélix</i> ; c) <i>Sansevieria laurentii</i> ; d) <i>Chamaedore seifritzii</i> ; e) <i>Dracaena deremensis “Janer Craig”</i> ; f) <i>Dracaena massangeana</i> ; g) <i>Chrysanthemum morifolium</i>	22
Figura 3.6 Plantas estudadas por Chauhan et al. (2022): a) <i>Ficus benamina</i> ; b) <i>Spathiphyllum wallisii</i> ; c) <i>Epipremnum aureum</i> ; d) <i>Philodendron bipinnatifidum</i> ; e) <i>Dieffenbachia seguine</i> ; f) <i>Ficus elástica</i>	23
Figura 3.7 Parede verde instalada numa sala de uma escola em Viena, Áustria	24
Figura 3.8 Parede e painéis instalados numa sala da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Brno, República Checa	25
Figura 3.9 Estruturas verticais instaladas numa sala de uma escola em Viena, Áustria	25
Figura 4.1 Salas em estudo: a) representação esquemática da SV e SN; b) imagem de uma das salas	30
Figura 4.2 Esquema da EVN instalada na SV	33
Figura 4.3 Sala verde com a EVN instalada: a) vista panorâmica; b) vista geral, com ocupação	34
Figura 4.4 Vasos com as plantas: a) <i>Hedera mix</i> , <i>Chlorophytum comosum</i> e <i>Nephrolepis exaltata</i> ; b) <i>Dracaena trifasciata</i> e <i>Chlorophytum comosum</i> ; c) <i>Scindapsus aureus</i> ; d) <i>Dyopsis lutescens</i> ; e) <i>Aloe vera</i> ; f) <i>Ficus benamina</i>	35
Figura 4.5 Localização e sequência dos pontos de amostragem.....	37
Figura 4.6 Ficha de amostragem - monitorizações pontuais da QAI	38
Figura 4.7 Equipamentos portáteis de leitura direta utilizados nas medições de QAI.....	38
Figura 5.1 Concentrações médias do parâmetro COV _T , “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN	46
Figura 5.2 Concentrações médias do parâmetro CO ₂ , “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN.....	47
Figura 5.3 Concentrações médias do parâmetro CO, “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN	48
Figura 5.4 Concentrações médias do parâmetro PM ₁₀ , “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN.....	48
Figura 5.5 Concentrações médias do parâmetro PM _{2,5} , “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN	49
Figura 5.6 Valores médios do parâmetro Temperatura (T), “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN	50
Figura 5.7 Valores médios do parâmetro Humidade Relativa (HR), “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN.....	50
Figura 5.8 Concentrações médias do parâmetro COV _T , na SV e SN, “Após a instalação da EVN”	55

Figura 5.9 Concentrações médias do parâmetro CO ₂ , na SV e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	56
Figura 5.10 Concentrações médias do parâmetro CO, na SV e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	57
Figura 5.11 Concentrações médias do parâmetro PM ₁₀ , na SV e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	57
Figura 5.13 Temperatura média, na SV e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	59
Figura 5.14 Humidade Relativa média, na SV e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	59
Figura 5.15 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “ <i>Indoor Climate Rating Scale</i> ”, “ <i>Antes e após a instalação da EVN</i> ”	61
Figura 5.16 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “ <i>Environmental Assessment Scale</i> ”, “ <i>Antes e após a instalação da EVN</i> ”: a) para os primeiros 9 pares de adjetivos; b) para os restantes 8 pares de adjetivos.....	62
Figura 5.17 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “ <i>Subjective Well-being in Classroom</i> ”, “ <i>Antes e após a instalação da EVN</i> ”	63
Figura 5.18 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “ <i>General Anxiety Disorder</i> ”, “ <i>Antes e após a instalação da EVN</i> ”	64
Figura 5.20 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “ <i>Positive Affect Negative Affect Scale</i> ”, “ <i>Antes e após a instalação da EVN</i> ”	65
Figura 5.22 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “ <i>Psychological capital</i> ”, “ <i>Antes e após a instalação da EVN</i> ”: a) para as primeiros 7 afirmações; b) para as restantes 8 afirmações	66

Índice de tabelas

Tabela 2.1 Fontes comuns de contaminação do ar interior em edifícios escolares	6
Tabela 2.2 Medidas de controlo a implementar numa estratégia de mitigação de problemas relacionados com a QAI nas escolas	7
Tabela 2.3 Fatores e fontes que afetam a qualidade do ar interior.....	9
Tabela 2.4 Sintomas comuns do síndrome do edifício doente	13
Tabela 2.5 Efeitos da exposição a dióxido de carbono (CO ₂) em ambientes interiores.....	14
Tabela 4.1 Dimensões e características das salas em estudo	31
Tabela 4.2 Dimensões e características das janelas das salas	31
Tabela 4.3 Datas e horários das medições de QAI, para as duas fases do estudo.....	32
Tabela 4.4 Datas e horários da aplicação dos questionários, para as duas fases do estudo.....	32
Tabela 4.5 Constituição da EVN instalada na SV	33
Tabela 4.6 Características e dimensões das plantas que constituem a EVN.....	36
Tabela 4.7 Equipamentos portáteis de leitura direta utilizados nas medições pontuais.....	38
Tabela 4.8 Características técnicas dos equipamentos de leitura direta	39
Tabela 5.1 Concentrações médias dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR, para as medições realizadas na SV, “ <i>Antes da instalação da EVN</i> ”	44
Tabela 5.2 Concentrações médias dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR, para as medições realizadas na SN, “ <i>Antes da instalação da EVN</i> ”	44
Tabela 5.3 Médias globais e desvio padrão dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR, na SV e SN, “ <i>Antes da instalação da EVN</i> ”	45
Tabela 5.4 Concentrações médias dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR, para as medições realizadas na SV, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	51
Tabela 5.5 Concentrações médias dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR, para as medições realizadas na SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	51
Tabela 5.6 Médias globais dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR, na SV “ <i>Antes da instalação da EVN</i> ” e “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	52
Tabela 5.7 Aulas consideradas para a comparação dos resultados das medições de QAI realizadas na SV e SN na segunda fase do estudo.....	54
Tabela 5.8 Concentrações médias dos parâmetros COV _T , CO ₂ , CO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , T e HR na SN e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	54
Figura 5.12 Concentrações médias do parâmetro PM _{2,5} , na SV e SN, “ <i>Após a instalação da EVN</i> ”	58

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), uma boa qualidade do ar é um requisito básico para a vida, sendo um fator determinante para a saúde e bem-estar dos ocupantes de espaços interiores. A exposição continuada a poluentes interiores tem um impacto direto na saúde e bem-estar dos ocupantes, assumindo uma maior relevância pelo facto de passarmos cerca de 90% do nosso tempo em espaços interiores (Leech et al., 2002; Organização Mundial da Saúde, 2010).

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), o número de queixas relacionadas com a qualidade do ar interior tem crescido nos últimos anos, devendo-se sobretudo ao aumento da densidade de edifícios, ao crescente uso de materiais sintéticos e às atuais medidas de conservação da energia nos edifícios, que reduzem a quantidade de ar exterior fornecido (Matos et al., 2010).

O conceito de qualidade do ar interior é bastante complexo e abrangente, uma vez que depende de inúmeros fatores, tais como, temperatura, humidade relativa, velocidade ao ar, existência de odores, concentração de microrganismos e poluentes químicos, poeiras em suspensão no ar, entre outros (Abreu, 2010). Muitas vezes os problemas de qualidade do ar interior são devidos a combinações de efeitos de diversos poluentes presentes em baixas concentrações, e não somente a elevadas concentrações de um só poluente, o que torna ainda mais complexo o estudo da qualidade do ar interior (Matos et al., 2010). A necessidade de eliminar, ou reduzir ao mínimo, a exposição a poluentes interiores é, por esta razão, uma das prioridades definidas pela OMS para a proteção da saúde pública em países desenvolvidos (Organização Mundial da Saúde, 2010).

As escolas são uma das infraestruturas mais importantes e críticas na sociedade, um dos primeiros locais para o desenvolvimento das atividades sociais, e um dos locais onde crianças e jovens passam mais tempo em ambientes interiores. Uma má qualidade do ar interior nas escolas, para além dos efeitos adversos na saúde, a curto e longo prazo, pode também afetar a produtividade, concentração e desempenho dos ocupantes desses espaços.

A *Environmental Protection Agency* (EPA) sugere inclusivamente que, uma má qualidade do ar interior pode reduzir a capacidade dos ocupantes para desempenhar tarefas mentais que requeiram concentração, cálculo ou memorização. Segundo a EPA, um estudo desenvolvido em escolas

européias revelou existir uma redução significativa da concentração dos estudantes com o aumento dos níveis de dióxido de carbono no interior das salas de aulas. Resultados semelhantes foram também obtidos em estudantes expostos a elevados níveis de compostos orgânicos voláteis e partículas suspensas no ar, nomeadamente partículas em suspensão de diâmetro inferior a 10 μm (PM_{10}) e partículas em suspensão de diâmetro inferior a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) (Environmental Protection Agency, 2003; Pulimeno et al., 2020).

Apesar da qualidade do ar interior nas escolas ser um problema que afeta milhões de estudantes, trata-se de um tema ainda negligenciado, que tomou alguma importância com a recente pandemia por COVID-19. Assegurar uma boa qualidade do ar nas escolas é, pelas razões acima apresentadas, uma necessidade atual e que deve constar da lista de prioridades dos responsáveis pela gestão e manutenção dos edifícios.

Uma boa qualidade do ar interior pode ser assegurada através de diversas estratégias de atuação, nomeadamente: remoção ou diminuição de fontes poluentes; extração de ar localizada; limpeza ou filtração do ar e diluição dos poluentes em ar novo, através do reforço da ventilação (Silva, 2021). Este último conjunto de medidas, embora bastante eficiente, tem como implicações o aumento do consumo energético, com consequente aumento de custos e impactos negativos sobre o ambiente (Wargocki, 2007). A qualidade do ar interior apresenta-se assim como um desafio para diversas especialidades da Engenharia, entre as quais a Engenharia Civil, o que leva à necessidade de articulação entre várias especialidades na procura de soluções económicas e ambientalmente sustentáveis, e que respondam às necessidades de proteção da saúde, conforto e bem-estar dos ocupantes dos diversos espaços (Silva, 2021).

Recentemente, a *Chair on Health Education and Sustainable Development* da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e a *Italian Society of Environmental Medicine* (SIMA) apresentaram uma série de recomendações com vista à melhoria da qualidade do ar interior nas escolas que incluem, entre outras medidas, a utilização de plantas como filtros naturais, capazes de absorver alguns contaminantes interiores (Pulimeno et al., 2020).

Existem diversos estudos que comprovam o potencial de algumas plantas, respetivas raízes e substratos, em melhorar a qualidade do ar interior através da remoção de alguns poluentes interiores, chegando mesmo alguns deles a considerar que esta se trata de uma das formas mais promissoras para mitigar alguns dos sintomas do chamado “Síndrome do Edifício Doente”¹ (Wolverton et al., 1989).

Embora já estudado o benefício da utilização de algumas plantas para a remoção de poluentes do ar interior, através de inúmeros estudos e ensaios laboratoriais, existe ainda pouca informação disponível

¹ O “Síndrome do Edifício Doente” foi reconhecido pela OMS em 1984 e é utilizado para descrever situações em que os ocupantes de um edifício apresentam um conjunto de sintomas e desconforto aparentemente associados ao tempo passado no interior de um edifício, sem que tenha sido identificada uma patologia ou causa específica (Environmental Protection Agency, 1991).

acerca da eficiência das estruturas verdes naturais em contexto real e, em particular em ambientes universitários, tornando-se deste modo pertinente verificar qual o contributo de uma estrutura verde natural (EVN) (composta por plantas com reconhecida capacidade em remover poluentes), para a melhoria da qualidade do ar de uma sala de aula numa instituição de ensino superior, e consequente impacto no bem-estar dos seus alunos.

1.2. Objetivos e metodologia

A presente dissertação tem como objetivo verificar o impacto da instalação de uma estrutura verde natural, constituída por plantas com reconhecida capacidade em remover poluentes do ar interior, na qualidade do ar interior de uma sala de aula e no bem-estar dos seus alunos.

Para a concretização deste objetivo foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a qualidade do ar interior na sala de aula, antes e depois da instalação de uma estrutura verde natural, através da monitorização de diversos parâmetros químicos e físicos;
- Analisar o bem-estar dos alunos, antes e depois da instalação de uma estrutura verde natural;
- Verificar a evolução dos parâmetros que caracterizam a qualidade do ar interior, antes e depois da instalação de uma estrutura verde natural.

Para caracterizar a qualidade do ar interior foram realizadas medições, de acordo com a metodologia definida pela APA (2010), dos seguintes parâmetros químicos e físicos:

- Compostos orgânicos voláteis totais (COV_T);
- Dióxido de carbono (CO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Partículas em suspensão no ar com diâmetro inferior a 2,5 µm e 10 µm (PM_{2,5} e PM₁₀);
- Temperatura (T) e humidade relativa (HR).

A instalação da estrutura verde natural foi financiada pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), no âmbito do Projeto GreenAir, e os equipamentos de monitorização, para medição dos parâmetros químicos e físicos, foram financiados pelo projeto IPL/2021/RESpira_ISEL.

A escolha das espécies de plantas a instalar na estrutura verde natural, foi realizada com base na sua reconhecida capacidade em remover determinados poluentes interiores, através da revisão bibliográfica de diversos estudos que foram efetuados em espaços interiores (incluindo em escolas e universidades), e tendo em consideração a disponibilidade de verbas do projeto.

Por sua vez, a análise do bem-estar dos alunos nas salas em estudo, foi realizada através da aplicação de questionários online, desenvolvidos e tratados pelo Departamento de Psicologia Social e das Organizações do ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, no âmbito dos projetos GreenAir/RESpira.

1.3. Organização do documento

A presente dissertação está organizada em seis capítulos, apresentando-se de seguida o resumo de cada um deles.

Capítulo 1. Introdução

No primeiro capítulo faz-se um breve enquadramento do tema, apresentando-se a sua relevância, o objetivo geral e os objetivos específicos, bem como uma descrição sucinta da metodologia seguida.

Capítulo 2. Qualidade do ar interior nos edifícios escolares

No segundo capítulo apresenta-se o conceito de qualidade do ar interior, os parâmetros que a caracterizam, as condições que a influenciam nos edifícios escolares e os seus efeitos na saúde dos ocupantes destes edifícios. Apresenta-se ainda uma sistematização do enquadramento legal nesta matéria.

Capítulo 3. A influência das estruturas verdes naturais na qualidade do ar interior e bem-estar dos ocupantes

No terceiro capítulo apresenta-se o conceito de estruturas verdes naturais e respetivas características, o seu significado para a eliminação de poluentes do ar interior e o seu impacto no bem-estar e desempenho dos ocupantes.

Capítulo 4. Caso de estudo

No quarto capítulo apresenta-se a metodologia seguida para cada uma das fases do estudo, nomeadamente, os procedimentos seguidos para monitorização da qualidade do ar interior e para a análise do bem-estar dos alunos, assim como as características da estrutura verde natural instalada.

Capítulo 5. Análise e discussão de resultados

No quinto capítulo apresentam-se em detalhe os resultados obtidos no estudo, fazendo-se uma comparação com a legislação em vigor e com resultados de trabalhos similares, tendo em conta a literatura especializada na área.

Capítulo 6. Conclusões e trabalhos futuros

O sexto capítulo sintetiza os resultados obtidos no estudo e apresenta as conclusões que deles decorrem. Neste capítulo são ainda apresentadas algumas sugestões para investigações futuras.

2. QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS EDIFÍCIOS ESCOLARES

2.1. Introdução

A qualidade do ar interior assume um papel fundamental na saúde e bem-estar do ser humano, uma vez que a maioria das pessoas passa cerca de 90% do tempo em espaços interiores, onde as concentrações de alguns poluentes podem ser significativamente superiores às observadas no exterior (Leech et al., 2002).

Para além das habitações, que podem representar cerca de 70% do tempo passado em espaços interiores, também as escolas são locais com ocupações tipicamente interiores, e onde estudantes e professores passam, muitas vezes, mais de 8 horas por dia (Ginja et al., 2012). De acordo com as estatísticas da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE, 2014), os estudantes portugueses, devido a uma maior carga horária, passam mais horas nos estabelecimentos de ensino do que a maioria dos estudantes da União Europeia.

Segundo a *Environmental Protection Agency* (2003), compreender a importância de uma boa qualidade do ar interior nas escolas é a base essencial para o desenvolvimento de um programa de qualidade do ar interior eficaz, focado na prevenção de potenciais problemas de saúde e no conforto, concentração e desempenho dos estudantes.

De acordo com Ginja et al. (2012), os fatores que mais condicionam a qualidade do ar interior dos edifícios são, a atual estratégia de construção, que se foca cada vez mais na eficiência energética e na introdução de novos materiais, e que tem como consequência a diminuição das taxas de renovação de ar e o aumento da concentração de poluentes no ar interior, e os hábitos adotados pelos seus utilizadores que, por questões de segurança e gestão de consumos energéticos, promovem uma maior estanquidade dos edifícios.

O conceito de qualidade do ar interior é bastante abrangente, uma vez que depende de inúmeros fatores, tais como a temperatura, a humidade relativa, a velocidade do ar, a existência de odores, a concentração de microrganismos ou poeiras em suspensão no ar, entre outros (Abreu, 2010).

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) define qualidade do ar interior como as “*características químicas, físicas e biológicas do ar interior não residencial, em locais de trabalho, espaços públicos interiores (...) que*

possam afetar o conforto ou saúde do ocupante”, considerando ainda que esta resulta da interação de fatores como a localização do edifício, o clima, o tipo e sistema de ventilação, as fontes de contaminação (como por exemplo o mobiliário, fontes de humidade, processos de trabalho, atividades realizadas e poluentes exteriores) e o número de ocupantes (APA, 2010).

Numa outra perspetiva, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) considera a qualidade do ar interior aceitável quando o ar se encontra isento de contaminantes em concentrações perigosas, sendo estas definidas pelas autoridades competentes, e quando a maioria, 80% ou mais dos ocupantes, não expressam insatisfação (ASHRAE, 2016).

De acordo com Costa (2011), as fontes mais comuns de contaminação do ar interior em edifícios escolares subdividem-se em quatro grandes grupos, conforme sistematizado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Fontes comuns de contaminação do ar interior em edifícios escolares, adaptado de Costa (2011)

Fontes exteriores	Equipamento do edifício	Materiais/Mobiliário	Outras fontes
Ar exterior poluído - Pólenes, poeiras, partículas de bolor - Emissões industriais - Emissões provenientes da combustão de veículos	Equipamentos de AVAC - Crescimento de microrganismos - Ventilação inadequada de produtos de combustão - Poeiras e detritos nas condutas	Materiais - Crescimento de microrganismos em materiais danificados pela água - Materiais libertadores de compostos orgânicos ou inorgânicos - Materiais libertadores de partículas	- Produtos de laboratório e oficinas/ ateliers - Fotocopiadoras e impressoras - Preparação de alimentos - Fumo de tabaco - Produtos de limpeza - Ocupantes - Plantas
Fontes próximas - Caís de carga - Contentores de lixo - Saídas de exaustão próximas de pontos de entrada de ar novo	Outros equipamentos - Emissões provenientes de equipamentos de escritório - Emissões provenientes de equipamentos de laboratório e limpeza	Mobiliário - Mobiliário novo, libertador de compostos orgânicos ou inorgânicos	
Fontes subterrâneas - Radão - Pesticidas - Fugas de armazéns subterrâneos			

Para além da diversidade de fontes, e conseqüente variedade de poluentes, outro fator importante a considerar é a variação das concentrações de poluentes ao longo do tempo, e por tipo de espaço. De uma forma geral, a concentração de um poluente no interior depende do volume de ar contido no espaço, da taxa de produção ou remição do poluente, da taxa de troca de ar com o exterior e da concentração de poluentes no exterior (Chithra & Nagendra, 2018).

Os edifícios escolares apresentam particularidades que os distinguem de outros tipos de edifícios e que têm uma influência significativa na qualidade do ar interior, tais como (US EPA, 2021):

- Concentração de ocupantes: nas escolas os ocupantes estão mais próximos, existindo uma maior concentração de ocupação por área;
- Investimento em manutenção: as verbas disponíveis para manutenção preventiva são geralmente baixas, sendo o investimento em novos sistemas e equipamentos mais reduzido;
- Fontes variadas de poluentes interiores: devido à diversidade de atividades desenvolvidas existe grande variedade de fontes de poluentes, tais como produtos e equipamentos de laboratório, equipamentos de oficinas, espaços de lazer e desportivos;
- Grande número de equipamentos de aquecimento e ventilação, muitas vezes com sistemas complexos;
- Variedade de espaços: para além das salas de aula e gabinetes, a escolas dispõe geralmente de outro tipo de espaços, com necessidades de manutenção e intervenção diferentes, tais como laboratórios, anfiteatros, cafetarias, ginásios, parques de estacionamento e espaços verdes diversificados;
- Instalações adaptadas e temporárias: muitas vezes são adaptados espaços para outros fins ou criadas instalações para ocupações provisórias.

Ainda de acordo com a *Environmental Protection Agency* (2003), uma atuação ineficaz perante a existência de problemas de qualidade do ar interior nas escolas pode ainda, de uma forma indireta, conduzir ao aumento do absentismo e à redução do conforto e desempenho de alunos e professores, ao comprometimento do funcionamento e eficiência de sistemas e equipamentos, ao aumento da probabilidade da saída e/ou transferência de alunos e professores e a uma publicidade negativa para o estabelecimento, com impacte na confiança da comunidade.

Atendendo às características e necessidades dos edifícios escolares, assim como à necessidade de um equilíbrio custo-benefício, torna-se essencial a definição de medidas práticas e económicas aquando da definição da estratégia de intervenção em qualidade do ar interior, tanto ao nível das ações preventivas (prevenção da entrada/emissão de poluentes interiores), como ao nível das ações corretivas (eliminação ou redução da concentração dos poluentes interiores).

A US EPA (2021) define seis tipos básicos de medidas de controlo a implementar numa estratégia de mitigação de problemas relacionados com a qualidade do ar interior nas escolas, conforme sistematizado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Medidas de controlo a implementar numa estratégia de mitigação de problemas relacionados com a QAI nas escolas (US EPA, 2021)

Medida de controlo	Exemplo
Controlo da fonte	Remoção na fonte – eliminar as fontes na proximidade, por exemplo através do isolamento ou afastamento a fontes de emissão Redução na fonte – reduzir a entrada de poluentes, por exemplo através da seleção de materiais e ou equipamentos com baixas emissões Substituição da fonte – substituir materiais e/ou equipamentos por materiais com baixas emissões Encapsulamento da fonte – isolar a fonte através da colocação de barreiras, por exemplo revestimento de materiais com produtos isolantes, que impeçam a libertação de poluentes
Exaustão localizada	Remoção dos poluentes à saída da fonte, de modo a evitar a sua dispersão pelo ar
Ventilação	Diluição da concentração de poluentes no ar, através da promoção da entrada de ar novo
Controlo da exposição	Redução da exposição dos ocupantes aos poluentes interiores
Filtragem do ar	Remoção dos poluentes do ar, através dos sistemas de ventilação ou da utilização de plantas interiores
Sensibilização	Redução da exposição dos ocupantes aos poluentes interiores através da sua sensibilização e informação acerca das medidas de prevenção e controlo de poluentes

Para a implementação destas medidas, e por forma a que a atuação se revele eficaz, é importante não negligenciar uma das fases fundamentais da estratégia, que passa por uma adequada e detalhada caracterização da qualidade do ar interior, que permita, não só o conhecimento dos poluentes, como a identificação das respetivas fontes (Di Giulio et al., 2010).

2.2. Poluentes do ar interior e respetivos valores limite

Em Portugal, a monitorização da qualidade do ar interior, por força da entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril, passou a ser obrigatória para algumas tipologias de edifícios, incluindo os edifícios escolares, tendo sido estabelecidos valores máximos para as concentrações de alguns poluentes que, conforme o referido diploma, foram selecionados com base nos valores guia da Organização Mundial da Saúde (OMS) e das normas nacionais e internacionais da *International Organization for Standardization* (ISO) e do *Comité Européen de Normalisation* (CEN).

Atualmente, e apesar da evolução do enquadramento legal ao longo dos últimos anos, as disposições sobre a qualidade do ar interior são regulamentadas por portaria específica, que determina a necessidade de avaliação dos seguintes poluentes físico-químicos e parâmetros microbiológicos: compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10 µm (fração PM₁₀), partículas em suspensão com diâmetro inferior a 2,5 µm (fração PM_{2,5}), formaldeído (CH₂O), radão, bactérias e fungos. Em relação ao radão, a obrigatoriedade apenas se verifica para os edifícios localizados nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

Para além dos poluentes acima indicados, a monitorização da qualidade do ar interior deve ainda contemplar a medição dos parâmetros temperatura (T) e humidade relativa (HR), dois parâmetros com um impacto direto na qualidade do ar e conforto dos ocupantes (Matos et al., 2010).

Para cada um dos parâmetros que caracterizam a qualidade do ar interior, a APA (2010) identifica um conjunto de fatores e fontes, conforme observado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Fatores e fontes que afetam a qualidade do ar interior APA (2010)

Parâmetro	Fatores e fontes
Compostos orgânicos voláteis	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo, tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes.
Dióxido de carbono	Número de ocupantes, queima de combustíveis fósseis (gás, aquecedores, entre outros).
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo de tabaco.
Partículas em suspensão	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, carpetes, filtros do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC).
Temperatura e valores extremos de humidade	Colocação imprópria dos termostatos, deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia, tecidos, cola, carpetes, mobiliário.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas AVAC, materiais molhados e húmicos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento (chillers), torres de refrigeração.

Seguidamente, e para os parâmetros monitorizados no presente estudo, apresenta-se uma breve descrição das suas características, fontes de emissão e valores limite recomendados.

Importa referir que, apesar da monitorização dos parâmetros formaldeído, bactérias e fungos se encontrar regulamentada pela atual legislação em vigor, estes não serão monitorizados neste trabalho. No caso do formaldeído, devido à falta de equipamento de monitorização e, no caso do estudo das bactérias e fungos, o estudo está a ser desenvolvido pela equipa de investigação do Centro de Investigação em Saúde e Tecnologia H&TRC da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, que faz parte da equipa do Projeto RESpira.

Compostos Orgânicos Voláteis

Os compostos orgânicos voláteis (COV) são compostos químicos que volatilizam facilmente em contacto com o ar, sendo normalmente compostos por elementos como hidrogénio, oxigénio, flúor, cloro, bromo, enxofre ou azoto, que resultam da combustão de combustíveis como a gasolina/gasóleo, madeira, carvão ou gás natural, ou são libertados por tintas, colas e diversos materiais de construção e mobiliário (Anand et al., 2014).

Os COV mais comuns em ambientes interiores são: Benzeno, Tolueno, n-decano, Limoneno, o-xileno, 1,1,1-Tricloroetano, 1,2,4-trimetilbenzeno, m/p-xileno, Undecano e 1,3,5-trimetilbenzeno (Jones, 1999). Devido à grande variedade de COV existentes, o que torna demorada e dispendiosa a

sua avaliação individual, a sua medição no ar interior é feita através da concentração de compostos orgânicos voláteis totais (COV_T), que representa a soma de todos os COV presentes no ar. Apenas em situações particulares ou em caso de ultrapassagem dos limiares de proteção, é feita uma identificação detalhada de COV (Matos et al., 2010; Meyer, 2021).

As concentrações de COV no ar exterior são, em geral, inferiores a 100 µg/m³, enquanto que em espaços interiores podem atingir valores substancialmente mais elevados, desde alguns microgramas (µg/m³) até a miligramas (mg/m³) (Matos et al., 2010).

As concentrações de COV no ar interior variam ao longo do dia, tendo em conta as atividades desenvolvidas pelos ocupantes, e ao longo do ano, de acordo com as estações do ano. No inverno, devido à redução da ventilação dos espaços por fecho das janelas, as concentrações de COV são tendencialmente superiores (Dela Cruz et al., 2014).

Nas escolas, e com base em estudos desenvolvidos em diversos países, as concentrações de COV são bastante variáveis, podendo existir salas com muito baixas concentrações de COV, em oposição a outras com concentrações muito elevadas, sendo que estes valores são dependentes do tipo de ventilação, mobiliário, limpeza, entre outros fatores (Safar et al., 2019).

Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor e inodoro, constituinte da atmosfera. Em ambientes interiores é gerado essencialmente pelo ser humano, através dos processos metabólicos, sendo também um dos principais produtos resultantes da combustão de gás e combustíveis (Chithra & Nagendra, 2018).

Em diversos estudos realizados em escolas e universidades europeias foram identificadas concentrações de CO₂ em algumas salas de aula entre os 352 ppm e os 5.049 ppm (Schiavon et al., 2019).

De acordo com Becerra et al. (2020), os ocupantes e respetivas atividades têm uma influência direta nas concentrações de CO₂. Num estudo desenvolvido em diversas escolas espanholas foi possível verificar que, em salas de aula com maiores taxas de ocupação (densidades abaixo dos 2,5 m² por estudante, ou seja, menos de um estudante por cada 2,5 m² de sala), foram registadas maiores concentrações de CO₂.

Os níveis de CO₂ representam um bom indicador da qualidade do ar, podendo ainda constituir um indicador da presença de outros poluentes interiores, uma vez que elevados níveis de CO₂ indiciam insuficientes taxas de renovação do ar e, conseqüentemente, maior acumulação de outros poluentes associados ao aparecimento de sintomas do Síndrome do Edifício Doente, tais como compostos orgânicos voláteis, formaldeído ou ozono (Apte & Daisey, 2000; Rostron, 2008; Azuma et al., 2018).

Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico, incolor e inodoro que resulta da combustão incompleta de compostos orgânicos e tem como principais fontes as emissões de veículos automóveis, fumo de incêndios, aquecedores, esquentadores, entre outras (Kinoshita et al., 2020).

Em elevadas concentrações o CO pode causar intoxicações agudas, sendo as emissões de CO responsáveis por mais de metade do total das mortes por envenenamento em diversos países (Adefeso et al., 2020).

Várias organizações internacionais estabeleceram valores limite de concentração para o CO. A US EPA define valores máximos de 35 ppm (média de 1 hora) e 9 ppm (média diária de 8 horas), enquanto a OMS define valores máximos de 90 ppm (para exposições de 15 minutos) e 10 ppm (média diária de 8 horas) (ASHRAE, 2016).

Partículas em suspensão no ar

As partículas ou aerossóis são definidas como a matéria sólida ou líquida em suspensão no ar. Atendendo ao seu diâmetro aerodinâmico, as partículas podem ser subdivididas em dois grupos distintos (Santos, 2010):

- Partículas com diâmetro aerodinâmico compreendido entre os 2,5 μm e os 10 μm , as “partículas inaláveis grossas”, provenientes das emissões das indústrias;
- Partículas com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 2,5 μm , as “partículas finas ou respiráveis”, encontradas no fumo e neblina e cujas principais fontes são os veículos motorizados.

O tamanho das partículas determina também o tempo que elas permanecem no ar. Enquanto que as partículas de maior dimensão (PM_{10}) sedimentam em poucas horas, as partículas mais pequenas ($\text{PM}_{2,5}$) podem permanecer dias ou semanas no ar, podendo ser transportadas a longas distâncias (Environmental Protection Agency, 2022).

De acordo com Chithra & Nagendra (2018), as partículas em suspensão no ar constituem um dos principais problemas de qualidade do ar nas escolas, podendo ter origem em fontes como o pó de giz, pó depositado no mobiliário, atividades de limpeza, equipamentos de climatização e fontes exteriores, como o tráfego automóvel. Chithra & Nagendra (2018) consideram ainda a própria atividade humana como uma das principais fontes de partículas em suspensão no ar das escolas, atendendo à elevada densidade de ocupação dos espaços e à frequente movimentação dos estudantes e professores pela sala (entradas e saídas, intervalos, idas ao quadro, entre outras atividades), uma vez que mesmo baixas taxas de atividades nos espaços podem contribuir para a suspensão de elevadas quantidades de partículas no ar (Thatcher & Layton, 1995).

Apesar do elevado número de estudos epidemiológicos desenvolvidos, não foi ainda possível estabelecer um limite abaixo do qual a exposição a partículas possa não provocar efeitos na saúde (New South Wales Government, 2021).

Temperatura e Humidade Relativa

O conforto térmico é definido como a condição mental na qual a satisfação com o ambiente térmico é expressa, e depende da sensação de corpo inteiro (Turhan & Akkurt, 2018).

O indicador de conforto térmico mais utilizado é a temperatura do ar, no entanto, deve ser sempre considerado em relação a outros fatores ambientais e pessoais, tais como a humidade relativa do ar, a velocidade do ar, a temperatura radiante, o isolamento do vestuário e o calor metabólico (Health and Safety Executive, 2022).

A temperatura e a humidade relativa são dois dos vários parâmetros que afetam o conforto térmico que, por sua vez, pode ter um efeito significativo no desempenho dos ocupantes, em termos de atenção, níveis de compreensão e aprendizagem (Corgnati et al., 2007).

Num estudo desenvolvido em alunos universitários, Liu et al. (2021) verificaram que a performance e desempenho dos alunos varia consideravelmente com o conforto ambiental, tendo a humidade relativa uma maior influência na aprendizagem e desempenho, em comparação com a temperatura. Este estudo concluiu ainda que, embora exista um maior desconforto dos alunos em ambientes com maiores níveis de humidade, o desempenho piora com baixos níveis de humidade. Os melhores níveis de desempenho foram identificados para humidades relativas na ordem dos 40% e temperaturas à volta dos 24 °C.

2.3. Poluentes do ar interior e os seus efeitos na saúde

Uma má qualidade do ar interior tem efeitos diretos na saúde dos ocupantes, sendo comum o aparecimento de um conjunto de sintomas, que se podem associar ao tempo passado no interior dos edifícios, e que são descritos na literatura como Síndrome do Edifício Doente ou Doenças Relacionadas com Edifícios, sendo que as doenças específicas, causadas por agentes conhecidos e identificáveis são designadas por doenças relacionadas com edifícios (DRE), enquanto que os sintomas de etiologia desconhecida, e que não se conseguem associar diretamente a exposições particulares, são designados por síndrome do edifício doente (SED) (Tsantaki et al., 2022).

Os sintomas mais comuns associados ao SED encontram-se sistematizados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 Sintomas comuns do síndrome do edifício doente (Jones, 1999)

-	Dores de cabeça e náuseas
-	Congestão nasal (corrimento, nariz entupido e espirros)
-	Dificuldade respiratória (picira, falta de ar, aperto no peito)
-	Problemas oculares (secura, comichão, lacrimejamento ou dor nos olhos, visão embaçada, ardor nos olhos, problemas com lentes de contato)
-	Problemas de garganta (dor de garganta, rouquidão, garganta seca)
-	Fadiga (cansaço incomum, sonolência, insónias)
-	Calafrios e febre
-	Dor muscular (músculos ou articulações doloridas, dor ou rigidez na parte superior das costas, dor ou rigidez na parte inferior das costas, dor ou dormência no ombro/pescoço, dor ou dormência nas mãos ou pulsos)
-	Sintomas neurológicos (problemas de concentração e de memória, depressão, tensão ou nervosismo)
-	Tonturas
-	Pele seca

Os efeitos negativos do SED, para além do impacte na saúde pública, podem também ter um impacte significativo na economia, uma vez que contribuem para o aumento do absentismo e redução da produtividade de trabalhadores e, no caso das escolas, da diminuição da concentração e desempenho de alunos e professores, podendo ainda implicar custos adicionais com medidas de remediação, e a necessidade de um aumento do consumo energético (Ghaffarianhoseini et al., 2018).

A maior parte dos poluentes do ar interior afeta diretamente os sistemas respiratório e cardiovascular, variando a severidade dos efeitos, quer com a intensidade e duração da exposição, como com a suscetibilidade individual e estado físico e mental aquando da exposição (Hoskins, 2003).

Cada poluente, dependendo das suas características, das concentrações em que se encontra presente, e do tempo de exposição, pode produzir um efeito diferente na saúde dos ocupantes.

Compostos Orgânicos Voláteis

A exposição a COV pode resultar quer em efeitos agudos, como em efeitos crónicos, podendo os indivíduos com patologias respiratórias, como por exemplos os doentes asmáticos, serem mais suscetíveis aos seus efeitos, mesmo a baixas concentrações (Jones, 1999).

A maioria dos COV encontra-se presente em baixas concentrações, não provocando efeitos significativos na saúde dos ocupantes. Contudo, quando presentes em grandes concentrações, podem aparecer sintomas que variam desde a irritação sensorial ou comportamental, a efeitos neurológicos, hepatológicos, mutagénicos e até mesmo carcinogénicos (Hoskins, 2003).

Dióxido de Carbono

O CO₂ é classificado como um asfixiante simples, ou seja, um gás que em determinadas concentrações reduz a disponibilidade de oxigénio, podendo também ser considerado um irritante respiratório. Em baixas concentrações geralmente não existem efeitos na saúde, contudo, quando

presente em concentrações mais elevadas pode estar associado ao desenvolvimento de determinada sintomatologia, conforme descrito na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 Efeitos da exposição a dióxido de carbono (CO₂) em ambientes interiores (Azuma et al., 2018)

Concentração de CO ₂	Efeitos na saúde
Acima de 500 ppm	Aumento da frequência cardíaca Aumento da pressão arterial Aumento da circulação sanguínea Aparecimento de sintomas relacionados com SED
Acima de 1.000 ppm	Comprometimento do desempenho cognitivo (tomada de decisões, resolução de problemas, velocidade de cálculo e associação) Aparecimento de sintomas respiratórios em crianças
Acima de 10.000 ppm	Aumento da frequência respiratória Acidose respiratória e stress metabólico Aumento do fluxo sanguíneo cerebral
Acima dos 50.000 ppm	Aparecimento de tonturas, dores de cabeça, confusão e dispneia
Acima dos 100.000 ppm	Dor de cabeça insuportável, desorientação, vômitos, dispneia, hipertensão e perda de consciência

Monóxido de Carbono

O CO é um gás extremamente tóxico devido à sua capacidade de combinação com a hemoglobina no sangue (cerca de 200 vezes superior à do oxigénio) que, por sua vez, conduz à redução do transporte de oxigénio para as células do corpo (Jones, 1999).

Quando presente em baixas concentrações pode levar ao aparecimento de sintomas como dores de cabeça, diminuição do estado de vigília, irritação respiratória, náuseas, fadiga, em indivíduos saudáveis, e dores no peito em doentes cardíacos. Em concentrações mais elevadas está associado a episódios de envenenamento e, em situações extremas, pode levar à morte (CPSC, 2022).

Partículas em suspensão no ar

São vários os estudos que demonstram uma associação entre a exposição a partículas e o desenvolvimento de patologias, essencialmente ao nível do aparelho respiratório, no entanto, não estão ainda definidos limites que garantam uma exposição segura, ou seja, abaixo dos quais a exposição a partículas não provoque efeitos na saúde dos indivíduos expostos (New South Wales Government, 2021).

A perigosidade da exposição a partículas está relacionada com a sua composição química e dimensão (Agência Portuguesa do Ambiente, 2021). As partículas de diâmetro inferior a 0,1 µm são, geralmente, as mais preocupantes para a saúde humana, uma vez que são inaladas, conseguindo chegar aos pulmões, enquanto que as partículas de maiores dimensões, diâmetros superiores a 10 µm são filtradas pelo nariz (Filho, 2021).

A exposição a partículas está associada a uma série de efeitos graves na saúde, nomeadamente doenças pulmonares, asma e outros problemas respiratórios. As partículas finas (diâmetros ≤ 2,5 µm) podem

agravar a asma e a bronquite, podendo, em exposições a curto prazo, provocar sintomas como falta de ar, irritação ocular e pulmonar, náuseas, tonturas e reações alérgicas (Santos, 2010).

Temperatura e Humidade Relativa

A temperatura e humidade relativa contribuem de forma muito significativa para a qualidade do ar interior e saúde dos ocupantes (Peterková et al., 2019). Condições extremas de temperatura e humidade podem levar ao aparecimento de inúmeros sintomas, que afetam essencialmente a pele, mucosas e as vias respiratórias (Matos et al., 2010).

Elevados níveis de humidade podem causar o aparecimento de fungos, altamente associados ao desenvolvimento de problemas alérgicos, enquanto que os valores baixos de humidade podem promover o aumento de sintomas na pele (secura, erupção cutânea), irritação nos olhos e secura das mucosas nasais (Coentro, 2015). Por sua vez, um ar quente e seco, ou muito frio e húmido, pode contribuir para o aparecimento de infeções respiratórias e/ou agravamento de sintomas respiratórios (Environmental Protection Agency, 2003).

2.4. Enquadramento legal no âmbito da qualidade do ar interior

Em Portugal, a regulamentação relativa à qualidade do ar interior (QAI) é bastante vasta tendo, ao longo das últimas duas décadas e por força da transposição de diretivas comunitárias, sido publicados uma série de diplomas legais que definem exigências e requisitos mínimos de qualidade ao ar interior.

Apesar de em 1951, com a publicação do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), aparecerem já identificados alguns requisitos de qualidade do ar interior, apenas em 2006, com a entrada em vigor do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), passaram a ser exigidas condições mínimas de conforto térmico e de qualidade do ar interior nos edifícios.

Na Figura 2.1 apresenta-se a evolução cronológica da regulamentação, comunitária e nacional, publicada nas últimas duas décadas em matéria de qualidade do ar interior.

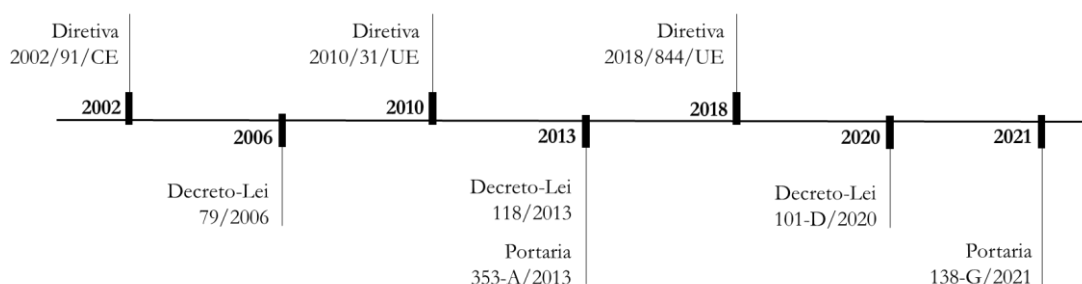


Figura 2.1 Sistematização cronológica da regulamentação comunitária e nacional relativa à qualidade do ar interior

O primeiro diploma publicado em matéria de qualidade do ar interior foi o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril, que aprovou o RSECE. O RSECE entrou em vigor em 2006 e transpôs para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 16 de dezembro. Neste novo diploma foram estabelecidos, entre outros requisitos, valores máximos para as concentrações de algumas substâncias poluentes do ar interior, aparecendo a figura das “auditorias à QAI”. O RSECE, para além de indicar uma metodologia específica para a medição das concentrações dos diversos poluentes interiores, estabeleceu ainda uma periodicidade para a realização das auditorias à qualidade do ar interior que, no caso dos estabelecimentos de ensino, era de dois em dois anos (Decreto-Lei n.º 79/2006 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 2006).

Em 2013, com a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que transpôs para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 19 de maio, é efetuada uma revisão da legislação nacional, sistematizando-se, num único diploma, a legislação relativa à certificação energética e desempenho energético dos edifícios. A nível da qualidade do ar interior, são mantidos os limiares de proteção para as concentrações de poluentes do ar interior sendo, no entanto, eliminadas as auditorias da qualidade do ar interior (Decreto-Lei n.º 118/2013 do Ministério da Economia e do Emprego, 2013).

Os novos limiares de proteção e condições de referência para os poluentes do ar interior, assim como a respetiva metodologia de avaliação, passam a estar estabelecidos pela Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro, que define ainda critérios de conformidade para verificação da conformidade legal dos resultados das medições dos poluentes (Portaria n.º 353-A/2013 dos Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, 2013).

Em 2020, com a transposição da Diretiva 2018/84 (UE) do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 30 de maio de 2018, é publicado o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, que estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios e do qual resulta, em 2021, a publicação da Portaria n.º 138-G/2021, de 1 de julho, atualmente em vigor (Decreto-Lei n.º 101-D/2020 da Presidência do Conselho de Ministros, 2020).

Este novo diploma estabelece os requisitos para a avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência, critérios de conformidade e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes, não sendo, contudo, alargada a sua aplicabilidade à totalidade dos edifícios escolares, uma vez que apenas se aplica a creches, estabelecimentos de educação pré-escolar e estabelecimentos de ensino do primeiro ciclo e do ensino básico, em funcionamento em grandes edifícios de serviços (GES), e edifícios de comércio e serviços (Portaria n.º 138-G/2021 do Secretário de Estado Adjunto e da Saúde e do Secretário de Estado Adjunto e da Energia, 2021).

A evolução do quadro legislativo em matéria de qualidade do ar interior conduziu a alterações, pouco significativas, dos parâmetros que caracterizam a qualidade do ar interior e dos respetivos limiares e condições de referência, conforme sistematizado na Figura 2.2.

Decreto-Lei 79/2006		Portaria 353-A/2013		Portaria 138-G/2021	
Partículas suspensas no ar	150 µg/m ³	Partículas em suspensão, PM ₁₀	50 µg/m ³	Partículas em suspensão, PM ₁₀	50 µg/m ³
		Partículas em suspensão, PM _{2,5}	25 µg/m ³	Partículas em suspensão, PM _{2,5}	25 µg/m ³
Compostos Orgânicos Voláteis	600 µg/m ³	Compostos Orgânicos Voláteis	600 µg/m ³	Compostos Orgânicos Voláteis	600 µg/m ³
Monóxido de Carbono	12,5 mg/m ³	Monóxido de Carbono	10 mg/m ³	Monóxido de Carbono	10 mg/m ³
Formaldeído	100 µg/m ³	Formaldeído	100 µg/m ³	Formaldeído	100 µg/m ³
Dióxido de Carbono	1800 mg/m ³	Dióxido de Carbono	2250 mg/m ³	Dióxido de Carbono	2250 mg/m ³
Radão	400 Bq/m ³	Radão	400 Bq/m ³	Radão	300 Bq/m ³
Bactérias	500 UFC	Bactérias	< Exterior + 350 UFC/m ³	Bactérias	< Exterior + 350 UFC/m ³
Fungos	500 UFC	Fungos	< Exterior	Fungos	< Exterior
Ozono	0,2 mg/m ³	Ozono	-	Ozono	-

Bq/m³ – Bequerel por metro cúbico UFC – Unidades Formadoras de colónias

Figura 2.2 Evolução dos parâmetros que caracterizam a qualidade do ar interior e respetivos limiares de proteção

Para além da subdivisão do parâmetro partículas suspensas no ar em dois novos parâmetros, nomeadamente, as partículas em suspensão, fração PM₁₀ e fração PM_{2,5}, destaca-se apenas a eliminação do parâmetro ozono e os ajustes nos limiares de proteção do dióxido de carbono, que passa a ter um limiar mais tolerante, do monóxido de carbono, que passa a ter um limiar ligeiramente mais exigente, das bactérias e fungos, que passam a ter critérios de conformidade dependentes das condições exteriores e do radão, cujo valor de referência é reduzido em cerca de 25% do valor limite inicial.

No início do ano de 2022, e tal como previsto no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro e na Portaria n.º 138-G/2021, de 1 de julho, é ainda publicado o Despacho n.º 1618/2022, de 9 de fevereiro, que estabelece o regime de avaliação simplificada anual (ASA) de requisitos relacionados com a qualidade do ar interior (aplicável apenas aos Grandes Edifícios de Comércio e Serviços (GES) e em edifícios de comércio e serviços onde estejam instaladas creches, estabelecimentos de educação pré -escolar, estabelecimentos de ensino do primeiro ciclo do ensino básico), assim como o regime de avaliação da qualidade do ar interior para efeitos de fiscalização. Neste diploma são ainda apresentados os métodos de medição para os poluentes físico-químicos e microbiológicos, a definição das zonas e locais de amostragem e os critérios de conformidade para efeitos de determinação do resultado das auditorias.

3. A INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS VERDES NATURAIS NA QUALIDADE DO AR INTERIOR E BEM-ESTAR DOS OCUPANTES

3.1. Introdução

As paredes verdes são um dos tipos de sistemas, ou estruturas verdes, mais comuns, e podem ser definidas segundo variados critérios, tais como as características e desenvolvimento das plantas, o tipo de substratos de crescimento ou o sistema construtivo implementado, assumindo assim diferentes denominações, conforme representado na Figura 3.1.

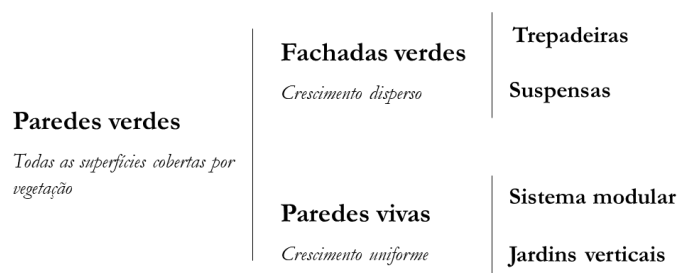


Figura 3.1 Sistemas comuns de paredes verdes, adaptado de Virtudes, A. e Manso (2016)

As paredes verdes podem ser de dois tipos de sistemas, as fachadas verdes (Figura 3.2) e as paredes verdes (ou vivas), que podem ainda ser interiores ou exteriores (Figura 3.3).



Figura 3.2 Exemplo de uma fachada verde instalada numa habitação particular na Golegã, Portugal (Manso & Castro-Gomes, 2015)



Figura 3.3 Parede verde interior: a) *Caixa Fórum, Valência*; b) *El Corte Inglés, Lisboa*

Enquanto que nas fachadas verdes as plantas, trepadeiras ou suspensas, crescem pela superfície de forma dispersa, nas paredes verdes uma maior variedade de plantas cresce, com distribuição uniforme, através de um sistema modular ou contínuo (jardins verticais), permitindo uma rápida e ampla cobertura das superfícies, e uma melhor adaptação a todos os tipos de edifícios (Manso & Castro-Gomes, 2015).

Os sistemas de paredes verdes são geralmente constituídos por uma estrutura fixa à parede (onde é deixado um espaço vazio entre o sistema e a superfície da parede), que suporta o substrato de crescimento das plantas, e onde são instalados mecanismos para fornecimento de água e nutrientes de forma automática. Dependendo do método de aplicação, estes sistemas podem classificar-se como contínuos ou modulares (jardins verticais) (Figura 3.4).

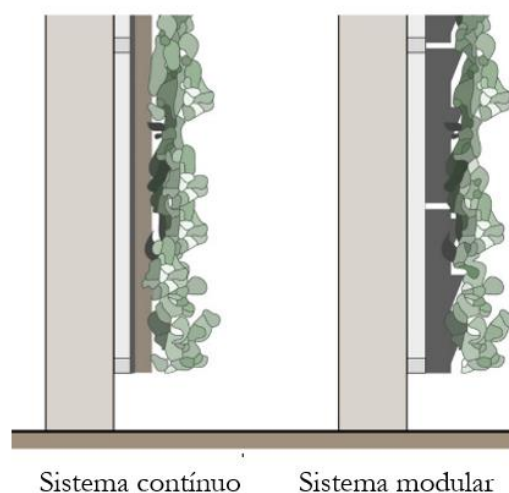


Figura 3.4 Tipos de sistemas de paredes verdes (Gunawardena & Steemers, 2019)

Uma das principais vantagens dos sistemas de paredes verdes interiores é que permitem a instalação de grande quantidade de plantas, sem grande ocupação de áreas de pavimento, permitindo assim

retirar partido dos benefícios das plantas, sem reduzir as áreas disponíveis dos espaços (Pichlhöfer et al., 2021).

Embora os sistemas verdes tenham vindo a ser utilizados essencialmente para fins estéticos, o avanço da tecnologia permitiu maximizar os benefícios das plantas para o desempenho e eficiência energética dos edifícios, entre os quais a melhoria da qualidade do ar interior, o conforto e bem-estar, e até mesmo a performance cognitiva dos ocupantes (Berg et al., 2017; Manso & Castro-Gomes, 2015).

Contudo, conseguir um sistema bem-sucedido é um processo complexo, que depende de inúmeros fatores, tais como, garantir uma estrutura de suporte adequada, assegurar o fornecimento adequado e suficiente de água, oxigénio e nutrientes, selecionar as plantas adequadas ao ambiente e condições climatéricas, garantir níveis adequados de iluminação, assegurar uma assistência e manutenção adequadas, entre outros (Riley, 2017). Esta complexidade reflete-se também nos custos associados à sua implementação que podem desincentivar os potenciais investidores. No entanto, um estudo de viabilidade socioeconómica realizado em escolas portuguesas demonstrou que, apesar da necessidade de ponderação de uma série de fatores, existe um rácio positivo na relação custo-benefício deste tipo de soluções (Almeida et al., 2021).

3.2. A influência das EVN na qualidade do ar interior

O interesse no potencial das plantas em remover poluentes do ar interior teve como ponto de partida o estudo desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em meados dos anos 80, que chega mesmo a considerar a utilização de plantas como uma “solução económica promissora” para a redução de poluentes do ar interior (Wolverton et al., 1989).

Desde então, uma série de estudos têm vindo a replicar as descobertas da NASA, alargando-as a outros campos de aplicação, e focando-se essencialmente na remoção de três grupos de poluentes: partículas em suspensão no ar, compostos orgânicos voláteis e poluentes inorgânicos (Gunawardena & Steemers, 2019).

No projeto desenvolvido pela NASA em 1989, foi estudado o potencial da utilização plantas e de “sistemas de plantas” (folhas, raízes, substrato e microrganismos associados) para a redução de determinados poluentes do ar interior, tendo sido demonstrada a capacidade de algumas plantas e sistemas em remover formaldeído, benzeno e tricloroetileno do ar. As espécies para as quais se obtiveram resultados mais expressivos, em termos de redução de poluentes, foram: *Gerbera jamesonni*, *Hedera helix*, *Sansevieria laurentii*, *Chamaedore seifritzii*, *Dracaena deremensis* “Janer Craig”, *Dracaena massangeana* e *Chrysanthemum morifolium* (Wolverton et al., 1989). Na Figura 3.5 apresentam-se imagens das espécies referidas.



Figura 3.5 Plantas estudo NASA: a) *Gerbera jamesonii*; b) *Hedera hélix*; c) *Sansevieria laurentii*; d) *Chamaedore seifritzii*; e) *Dracaena deremensis* “Janer Craig”; f) *Dracaena massangeana*; g) *Chrysanthemum morifolium* (GARDENIA, 2022)

Em Portugal, um estudo desenvolvido pelo Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) em diversas escolas primárias em Aveiro, corroborou os resultados obtidos pela NASA para as espécies *Dracaena deremensis*, *Dracena marginata*, e *Spathiphyllum “Mauna Loa”*, tendo concluído que, apesar dos inúmeros factores que podem condicionar os resultados do estudo, é evidente a capacidade destas plantas em remover determinados poluentes do ar, entre os quais CO₂, COV e PM₁₀ (Pegas et al., 2012). De acordo com Chauhan et al. (2022), a seleção das plantas a utilizar para redução dos poluentes do ar interior pode ser efetuada com base nos respetivos valores de “*Air Pollution Tolerance Index*” (APTI)². Considerando o pressuposto de que altos valores de APTI sugerem maior capacidade

² O “*Air Pollution Tolerance Index*” (APTI) expressa a capacidade das plantas para combater os efeitos adversos da poluição, e é calculado com base em parâmetros tipicamente afetados pelos poluentes atmosféricos, tais como teor de ácido ascórbico, teor total de clorofila, teor relativo de água, pH e extrato foliar (Éva et al., 2020).

para remover poluentes, Chauhan et al. (2022) estimaram os índices APTI de várias espécies de plantas, tendo obtido valores mais elevados de APTI para as seguintes espécies, por ordem decrescente: *Dracena deremensis*, *Ficus benjamina*, *Spathiphyllum wallisii*, *Epipremnum aureum*, *Philodendron bipinnatifidum*, *Dieffenbachia seguine*, *Sansevieria trifasciata* e *Ficus elastica*. As espécies referidas podem ser visualizadas na Figura 3.6.



Figura 3.6 Plantas estudadas por Chauhan et al. (2022): a) *Ficus benjamina*; b) *Spathiphyllum wallisii*; c) *Epipremnum aureum*; d) *Philodendron bipinnatifidum*; e) *Dieffenbachia seguine*; f) *Ficus elástica* (GARDENIA, 2022)

Segundo Husti et al. (2016), existem mais de 100 espécies de plantas com capacidade para remover ou reduzir as concentrações de poluentes do ar interior, entre as quais se incluem: *Dracaena spp.*, *Sansevieria trifasciata*, *Ficus spp.*, *Schefflera spp.*, *Spathiphyllum spp.*, *Orchids*, *Hedera helix*, *Dieffenbachia spp.*, *Epipremnum spp.* e *Nerium indicum*.

O estudo do potencial das plantas em remover poluentes do ar interior tem acompanhado o avanço da tecnologia e o aparecimentos de novas “soluções verdes”, tendo vindo a ser desenvolvidas uma série de investigações, com o objetivo de verificar a influência e importância deste tipo de soluções na melhoria do ambiente interior e do bem estar mental dos ocupantes (Peterková et al., 2019).

Um estudo desenvolvido num edifício escolar em Viena, Áustria, comparou os resultados de alguns parâmetros de QAI em duas salas de aula, uma onde se encontrava instalada uma parede verde (com sistema de rega automático e com um volume aproximado de 1% do volume da sala) (Figura 3.7), e uma outra sem parede verde, em duas estações do ano, período de verão e período de inverno. Os resultados obtidos demonstraram existir uma relação entre a parede verde e o aumento da percentagem de humidade relativa na sala, mais expressivo no inverno, tendo ainda demonstrado a existência de uma relação entre a parede verde e a diminuição da concentração de CO₂ na sala (Tudiwer & Korjenic, 2017).



Figura 3.7 Parede verde instalada numa sala de uma escola em Viena, Áustria (Tudiwer & Korjenic, 2017)

Em 2018, num estudo desenvolvido na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Brno, República Checa, procurou-se verificar a influência da instalação de uma parede verde na qualidade do ar interior e saúde dos ocupantes, através da realização de medições de dióxido de carbono, temperatura e humidade, e da aplicação de questionários. Para tal foi instalada uma parede com 10 m² e quatro pequenos painéis, constituídos por uma série de espécies de plantas (Figura 3.8), tendo os resultados sido comparados com uma sala de controlo (sem estruturas verdes). Os resultados obtidos permitiram concluir que as estruturas verdes têm um papel importante na regulação da concentração de CO₂ e da temperatura no interior da sala, na conservação de níveis mais elevados de humidade relativa e afetam de forma positiva o bem-estar mental dos ocupantes (Peterková et al., 2019).



Figura 3.8 Parede e painéis instalados numa sala da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Brno, República Checa (Peterková et al., 2019)

Num outro estudo desenvolvido entre 2020 e 2021 numa outra escola em Viena, Áustria, com o objetivo de investigar quais as plantas que poderão ter uma maior influência na QAI, foram analisadas três espécies distintas e uma mistura de plantas (instaladas em quatro estruturas verticais) (Figura 3.9), e avaliados o conforto higrométrico (temperatura e humidade relativa) e a concentração de partículas (PM_{10} e $PM_{2,5}$) e de CO_2 no ar.



Figura 3.9 Estruturas verticais instaladas numa sala de uma escola em Viena, Áustria (Pichlhöfer et al., 2021)

Os resultados obtidos, apesar das limitações do estudo (incerteza e variabilidade das medições; influência da ventilação e do gradiente de temperatura; impossibilidade de medir os efeitos locais), revelaram que as espécies *Epipremnum aureum* e *Nephrolepis exalata* foram as que mostraram uma maior influência positiva nos parâmetros analisados, e que a combinação de espécies apenas mostrou um melhor desempenho em relação às partículas em suspensão no ar e CO_2 (Pichlhöfer et al., 2021).

3.3. A influência das EVN no bem-estar e desempenho dos ocupantes

As plantas são utilizadas em ambientes interiores há milhares de anos, existindo mesmo evidências de que eram já utilizadas no século III a.C., pelos Egípcios (Bringslimark et al., 2009). Apesar de se tratar de uma prática ancestral, só mais recentemente se começaram a estudar os seus benefícios para o bem-estar e desempenho dos ocupantes, podendo identificar-se a *hipótese da biofilia*, proposta por Wilson em 1986, como um dos pontos de partida para estas novas investigações (Bringslimark et al., 2009; Kellert & Calabrese, 2015).

De acordo com Aydogan & Cerone (2021), o contacto com a natureza, e em particular a presença de plantas em ambientes interiores, aumenta a eficiência, produtividade e bem-estar geral dos ocupantes, ao mesmo tempo que reduz o stress e os sentimentos negativos e contribui para uma melhoria da saúde mental. Com base na revisão de uma série de estudos, Aydogan & Cerone (2021) classificaram os benefícios das plantas em três tipos de efeitos: *efeitos psicológicos*, com impacto positivo na condição mental e no comportamento; *efeitos fisiológicos*, com impacto positivo na saúde e condição física; e *performance*, com impacto positivo no desempenho dos ocupantes.

Ao longo dos anos foram desenvolvidos uma série de estudos que evidenciam os efeitos positivos das plantas sobre as condições mentais e desempenho dos ocupantes, alguns deles desenvolvidos em ambientes escolares.

Num estudo realizado por Lohr & Pearson-mims (2000) foram avaliadas as impressões dos ocupantes, 89% dos quais estudantes universitários, acerca de uma sala, para três cenários diferentes: sem objetos, com objetos decorativos e com plantas. Lohr & Pearson-mims, (2000) verificaram que, na sala com plantas, as pessoas reportaram níveis mais elevados de emoções positivas, como sentimentos de despreocupação e sentimentos amigáveis, do que nas restantes salas, sugerindo que, quer as impressões das pessoas sobre uma sala, como o seu bem-estar mental, podem ser significativamente melhoradas através da colocação de plantas interiores. Ainda no ano 2000, Fjeld (2000), num estudo desenvolvido numa escola em Oslo, Noruega, observou que os alunos das salas com plantas tropicais reportaram menos sintomas de desconforto relacionado com os problemas de qualidade do ar interior, em comparação com os estudantes das salas sem plantas.

Shibata & Suzuki (2001), num estudo desenvolvido com estudantes universitários, verificaram que as plantas têm uma capacidade de acelerar a recuperação do cansaço mental, tendo esta capacidade sido também evidenciada por McCullough et al. (2018), que sugeriram ainda que o contacto dos estudantes com ambientes naturais melhora, de uma forma geral, o seu bem-estar físico.

Num estudo realizado num liceu em Taiwan, Han (2009) observou que os alunos da sala onde foram colocadas seis grandes plantas, consideram-na mais acolhedora e confortável, em comparação com os alunos das salas sem plantas. Neste mesmo estudo, Han (2009) observou ainda uma diminuição do número de horas de ausências por doença e do número de repreensões por mau comportamento,

nos alunos da sala com plantas. Doxey et al. (2009), num estudo realizado numa universidade dos Estados Unidos da América, verificaram que a presença de plantas interiores aumentava a participação dos estudantes na aula, e que o contacto passivo com a natureza melhora os níveis de satisfação com o trabalho e com a vida doméstica, e afeta de forma positiva o humor e o desempenho dos estudantes.

Num estudo realizado com estudantes do sexto e sétimo anos de uma escola em Brisbane, Austrália, Daly et al. (2010) observaram que, nas salas com plantas, os alunos obtiveram melhor desempenho a nível da ortografia, matemática e ciências, em comparação com os alunos de salas sem plantas.

Berg et al. (2017), desenvolveram um estudo em duas escolas primárias de um pequeno município próximo de Amsterdão, Holanda, no qual verificaram que a exposição direta a ambientes naturais, promovida pela instalação de uma parede verde, contribui de forma positiva para a promoção do pensamento crítico, aprendizagem e melhoria da concentração e comportamento dos estudantes. Neste estudo, foi ainda observado que as crianças das salas com parede verde consideraram a sala mais atrativa, e que a instalação da parede verde provocou alterações positivas na sala.

Num estudo realizado em duas salas da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Brno, República Checa, Peterková et al. (2019) avaliaram a influência de uma parede verde em alunos e professores, tendo observado que na sala com a parede verde os alunos e professores sentiram o impacto positivo da parede verde no seu bem-estar psicológico, assim como um aumento de produtividade e criatividade. Os mesmos resultados foram observados por Shibata & Suzuki, (2004), num estudo onde investigaram o desempenho de alunos universitários com a colocação de uma planta na sala, no qual observaram melhorias no desempenho dos estudantes, sobretudo do sexo feminino.

Mais recentemente, num estudo desenvolvido durante a pandemia de COVID-19 em contexto habitacional, Lianyu et al. (2022) verificaram que as plantas têm também a capacidade de reduzir a ansiedade e outro tipo de emoções negativas causados pelo autoisolamento.

Para além do contributo das plantas a nível da melhoria da qualidade do ar interior nos edifícios, a sua presença em ambientes interiores traz também inúmeros benefícios para os seus ocupantes, tornando os espaços mais confortáveis e acolhedores, o que se reflete na melhoria do seu bem-estar e desempenho.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. Introdução

Nos capítulos anteriores foi referido que a qualidade do ar interior (QAI) pode ter um impacto negativo na saúde dos ocupantes dos edifícios a múltiplos níveis. Por outro lado, os últimos estudos têm indicado que os alunos do ensino superior sofrem elevados graus de ansiedade e depressão, e que as taxas de suicídio têm aumentado, sendo muito superiores às da restante população, pelo que é de extrema importância definir estratégias nos estabelecimentos de ensino, que atuem eficazmente sobre estas problemáticas e que promovam a melhoria da saúde física e mental dos estudantes (Sousa, 2020).

Assim, no presente caso de estudo pretendeu-se verificar o impacto da instalação de uma estrutura verde natural (EVN) na qualidade do ar interior de uma sala de aula do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), através da monitorização de diversos poluentes interiores, bem como analisar o impacto no bem-estar, conforto e redução de stress nos alunos.

O estudo foi realizado em duas fases, uma primeira fase, “*Antes da instalação da EVN*”, em que foram realizadas medições de qualidade do ar interior (QAI) e aplicados questionários aos alunos, e uma segunda fase, “*Após a instalação da EVN*”, onde foram realizadas medições de QAI e aplicados (os mesmos) questionários aos alunos. O estudo foi realizado nos meses de Maio e Junho, a que corresponde o período da Primavera em Portugal.

Para o estudo foram seleccionadas duas salas de aula do Edifício G do Campus do ISEL: a “*Sala Verde*” (SV), sala onde foi instalada a EVN e a “*Sala Neutra*” (SN), onde foram mantidas as condições iniciais, e que foi utilizada para comparação com a sala verde.

Em ambas as fases, e salas, foram realizadas medições de QAI e aplicados questionários em diferentes turmas e horários. A seleção das turmas foi efetuada de modo a que estas tivessem o maior número de ocupantes possível, quer durante as medições dos poluentes, como durante a aplicação dos questionários. Para a aplicação dos questionários, houve ainda a preocupação de assegurar que os

alunos apenas frequentassem uma das salas, SV ou SN, por forma a garantir respostas absolutas, para cada sala, e não comparativas, entre salas.

A seleção e o número de plantas a integrar a EVN foi feita com base na sua reconhecida capacidade em absorver determinados poluentes interiores, como descrito no capítulo anterior, atendendo às verbas disponíveis no projeto.

Para a caracterização da QAI foi seguida a metodologia definida pela APA (2010), tendo sido realizadas medições de forma pontual, com recurso a equipamentos portáteis de leitura direta.

A análise do bem-estar dos alunos, foi realizada através da aplicação de questionários online, desenvolvidos pelo Departamento de Psicologia Social e das Organizações do ISCTE no âmbito dos projetos GreenAir/RESpira.

4.2. Caracterização dos locais de estudo

A seleção das salas a estudar foi efetuada com base no critério de maior ocupação, tendo sido selecionadas duas das salas utilizadas pelas turmas com maior número de alunos inscritos. Para além deste critério, foram ainda tidas em conta duas outras condições, nomeadamente, exposição solar e área de envidraçados, tendo sido selecionadas salas orientadas a Sudoeste, e com uma área considerável de envidraçados (fachada a sudoeste com 12,84 m² de envidraçados).

As salas selecionadas encontram-se localizadas no segundo piso do Edifício G do Campus do ISEL e apresentam dimensões e características construtivas idênticas. Na Figura 4.1 apresenta-se uma representação esquemática da Sala Verde (SV) e Sala Neutra (SN) e uma imagem de uma das salas.

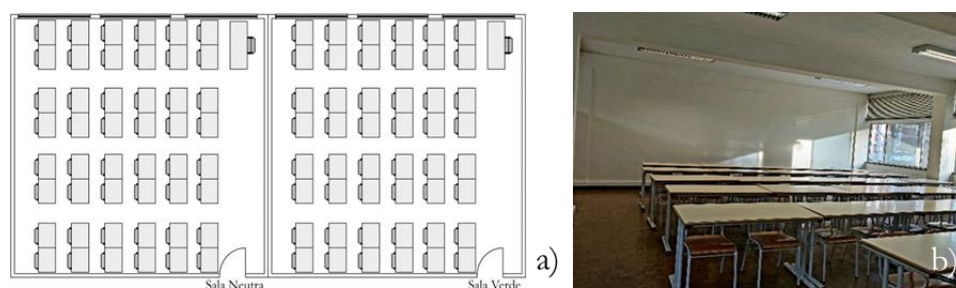


Figura 4.1 Salas em estudo: a) representação esquemática da SV e SN; b) imagem de uma das salas

Embora identificadas com uma capacidade de 50 ocupantes, as salas dispõem de mobiliário (secretárias e cadeiras) para 48 alunos e um professor. O pavimento encontra-se revestido a taco de madeira e as paredes são rebocadas e pintadas.

Para além do mobiliário referido, as salas dispõem de quadro branco, fixado na parede, e equipamento de projeção, fixado no teto. As dimensões e características das salas apresentam-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Dimensões e características das salas em estudo

Área (m ²)	Pé-direito* (m)	Volume (m ³)	N.º Portas	Tipo Ventilação	Materiais
74.13	3.25	240.92	1	Natural	Pavimento: taco de madeira Paredes: reboco e tinta Janelas: vidro simples, Caixilho de alumínio

*Pé-direito médio

A caixilharia é de alumínio com vidro simples e as janelas, seis no total, encontram-se localizadas nas duas paredes laterais da sala, apresentando dimensões e orientações solares distintas, conforme se apresenta na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Dimensões e características das janelas das salas

N.º Vãos	Área por vão (m ²)	Orientação solar	Sombreamento
3	4.28	Sudoeste	Cortinas opacas reguláveis
3	1.30	Nordeste	Sem sombreamento, mas sem incidência solar

A limpeza das salas é realizada duas vezes por semana, antes do início das aulas, com recurso aos mesmos produtos e equipamentos.

Como medida de prevenção da pandemia de COVID-19, ambas as salas dispunham de um conjunto de desinfetantes de base alcoólica, para utilização pelos ocupantes.

4.3. Fases do estudo

O presente estudo desenvolveu-se em duas fases, “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*”. As duas fases ocorreram durante o semestre de verão, no mês de maio de 2022, com um intervalo de três semanas. Para ambas as fases foi definido um planeamento semelhante, tendo as medições de QAI e a aplicação dos questionários sido realizadas nos mesmos dias da semana, e nas mesmas turmas.

Para cada sala, SV e SN, foram selecionados três horários, de modo a abranger três períodos distintos do dia: manhã, tarde e final de tarde/noite. As turmas que frequentavam a SV são identificadas pelas letras A, B e C, e as turmas que frequentavam a SN são identificadas pelas letras D a K (Tabela 4.3 e Tabela 4.4). Atendendo à organização dos cursos, alguns dos horários cobriam mais do que uma turma, tendo sido considerada a turma principal (com maior utilização da sala) para efeitos de identificação.

Na Tabela 4.3 e Tabela 4.4 são apresentadas as datas e horas nas quais foram realizadas as medições de QAI e aplicados os questionários, respetivamente.

Tabela 4.3 Datas e horários das medições de QAI, para as duas fases do estudo

Antes da instalação da EVN		Após a instalação da EVN	
3 maio 2022	5 maio 2022	24 maio 2022	26 maio 2022
08H00 - 09H30 Medições QAI em vazio SV e SN		08H00 - 09H30 Medições QAI em vazio SV e SN	
11H00 - 12H30 Medições QAI SV - Turma A SN - Turma D	11H00 - 12H30 Medições QAI - SN - Turma G	11H00 - 12H30 Medições QAI - SN - Turma D	11H00 - 12H30 Medições QAI SV - Turma A -
15H30 - 17H00 Medições QAI SV - Turma B SN - Turma E	15H30 - 17H00 Medições QAI SV - Turma B -	15H30 - 17H00 Medições QAI SV - Turma B -	
	18H30 - 20H00 Medições QAI SV - Turma C SN - Turma I		18H30 - 20H00 Medições QAI SV - Turma C SN - Turma I
20H00 - 21H30 Medições QAI SV - Turma C SN - Turma F		20H00 - 21H30 Medições QAI SV - Turma C SN - Turma F	

Tabela 4.4 Datas e horários da aplicação dos questionários, para as duas fases do estudo

Antes da instalação da EVN		Após a instalação da EVN	
3 maio 2022	5 maio 2022	24 maio 2022	26 maio 2022
	08H00 - 09H30 Questionários SN - Turma D		08H00 - 09H30 Questionários SN - Turma D
09H30 - 11H00 Questionários SV - Turma A			09H30 - 11H00 Questionários SV - Turma A
	11H00 - 12H30 Questionários SN - Turma G 12H30 - 14H00 Questionários SN - Turma J	11H00 - 12H30 Questionários SV - Turma A	12H30 - 14H00 Questionários SN - Turma J
17H00 - 18H30 Questionários SV - Turma B		17H00 - 18H30 Questionários SV - Turma B	
18H30 - 20H00 Questionários SV - Turma C		18H30 - 20H00 Questionários SV - Turma C	

O planeamento inicialmente previsto para as medições de QAI não foi cumprido na íntegra, razão pela qual algumas das medições se encontram em falta (-) na Tabela 4.3. Esta situação deveu-se ao facto de algumas das aulas que estavam previstas para os dias das medições terem sofrido uma mudança de sala de última hora, o que inviabilizou as medições nas datas previamente calendarizadas.

4.4. Implementação da estrutura verde natural

A EVN foi projetada atendendo à geometria da sala e disposição do mobiliário, e de modo a causar o menor impacto na circulação dos alunos. Tendo em conta o número e tipo de plantas selecionadas, foram definidos diferentes tipos de suporte, nomeadamente: vasos pousados no pavimento (de diferentes dimensões e volumetrias), vasos suspensos no teto e treliças, para as plantas trepadeiras.

A EVN foi instalada na parede de fundo (parede oposta ao quadro branco) e nas paredes laterais da sala SV, conforme representado na Figura 4.2.

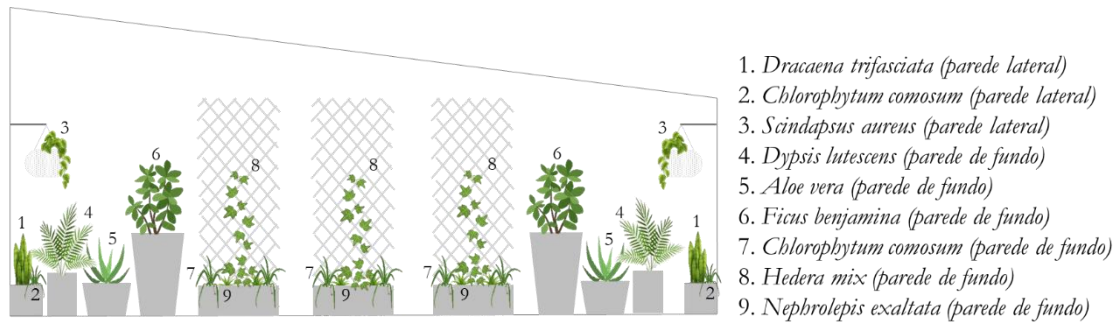


Figura 4.2 Esquema da EVN instalada na SV

Na Tabela 4.5 encontra-se detalhada a constituição da EVN, com identificação das espécies e número de plantas instaladas, assim como as dimensões dos respetivos vasos, e na Figura 4.3 apresenta-se uma imagem geral da SV com a EVN instalada.

Tabela 4.5 Constituição da EVN instalada na SV

N.º	Espécie	N.º plantas	N.º vasos	Dimensões vaso (cm)
1	<i>Dracaena trifasciata</i>	8	2	79 x 39 x 70
2,7	<i>Chlorophytum comosum</i>	12	2	79 x 39 x 70
			3	100 x 40 x 40
3	<i>Scindapsus aureus</i>	4	4	27 x 17
4	<i>Dypsis lutescens</i>	2	2	40 x 65
5	<i>Aloe vera</i>	2	2	60 x 43.5
6	<i>Ficus benjamina</i>	2	2	50 x 100
7	<i>Hedera mix</i>	6	3	100 x 40 x 40
			3*	*Treliças 100 x 200
9	<i>Nephrolepis exaltata</i>	3	3	100 x 40 x 40



Figura 4.3 Sala verde com a EVN instalada: a) vista panorâmica; b) vista geral, com ocupação

Em todos os vasos, para além do substrato, foram adicionados grânulos de argila expandida, com o objetivo de aligeirar a textura do substrato e maximizar a capacidade de armazenamento e retenção de água.

Na Figura 4.4 apresentam-se imagens dos diversos vasos e plantas instaladas na sala.



Figura 4.4 Vasos com as plantas: a) *Hedera mix*, *Chlorophytum comosum* e *Nephrolepis exaltata*; b) *Dracaena trifasciata* e *Chlorophytum comosum*; c) *Scindapsus aureus*; d) *Dypsis lutescens*; e) *Aloe vera*; f) *Ficus benjamina*

As características e dimensões aproximadas de cada uma das plantas encontram-se detalhadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 Características e dimensões das plantas que constituem a EVN

N.º	Espécie	Dimensões da planta (m)	Tipo folha	Cor da folha
1	<i>Dracaena trifasciata</i>	0.20 x 0.50	Longa, rígida e vertical	Verde escura com faixas cruzadas cinza-esverdeadas claras
2,7	<i>Chlorophytum comosum</i>	0.25 x 0.25	Longa, estreita e curvada	Dois tons de verde
3	<i>Scindapsus aureus</i>	0.40 x 0.30	Larga	Verde reluzente com alguns raiados de creme aleatórios
4	<i>Dypsis lutescens</i>	0.60 x 0.90	Longa, com formato de pena gigante	Verde reluzente
5	<i>Aloe vera</i>	0.80 x 0.80	Grossa e carnosa com borda serrilhada	Verde a cinza-esverdeado
6	<i>Ficus benjamina</i>	0.50 x 0.90	Pequena, folhagem densa	Verde escura
9	<i>Hedera mix</i>	0.10 x 0.20	Pequena e recortadas	Verde reluzente
8	<i>Nephrolepis exaltata</i>	0.25 x 0.15	Longa e rendada	Verde reluzente

A EVN foi instalada pela empresa que forneceu as plantas, sendo a rega e manutenção das plantas da responsabilidade do prestador de serviços de manutenção de espaços verdes do ISEL, com a colaboração de algumas assistentes operacionais do ISEL.

4.5. Monitorização da qualidade do ar interior

A monitorização da qualidade do ar interior foi realizada de acordo com a metodologia definida no *Guia Técnico* elaborado pela APA (2010), que prevê, entre outras formas de monitorização, a realização de medições pontuais dos parâmetros definidos na Portaria n.º 138-G/2021, através de equipamentos de leitura direta, em locais e períodos representativos das atividades normalmente desenvolvidas, neste caso, em salas de aula, durante o período de aulas. Ainda de acordo com esta metodologia, a APA (2010) recomenda que os locais a monitorizar sejam selecionados de modo a minimizar o impacte nas atividades, e que os equipamentos sejam localizados a, pelos menos, 1 metro das fontes. Para as medições pontuais foram utilizados equipamentos portáteis de leitura direta, tendo sido medidos os seguintes parâmetros: compostos orgânicos voláteis totais (COV_T), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão (fração PM₁₀), partículas em suspensão (fração PM_{2,5}), temperatura (T) e humidade relativa (HR).

As medições pontuais foram realizadas nas duas fases do estudo, “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*”, como apresentado na Tabela 4.3.

No total das duas fases foram realizadas medições em onze aulas, com a seguinte distribuição: seis medições “*Antes da instalação da EVN*” e cinco medições “*Após a instalação da EVN*”.

Complementarmente às medições realizadas durante os períodos de aula (salas ocupadas), foram ainda recolhidas medições em vazio (salas sem ocupação), por forma a verificar a variação da concentração dos diversos parâmetros e poluentes com a ocupação dos espaços.

De forma a que as medições fossem o mais representativas possível do espaço e tipo de ocupação, foram recolhidas leituras em diversos momentos da aula e em vários pontos da sala.

Para cada medição foi definida uma sequência de amostragem com três pontos, conforme representado na Figura 4.5.

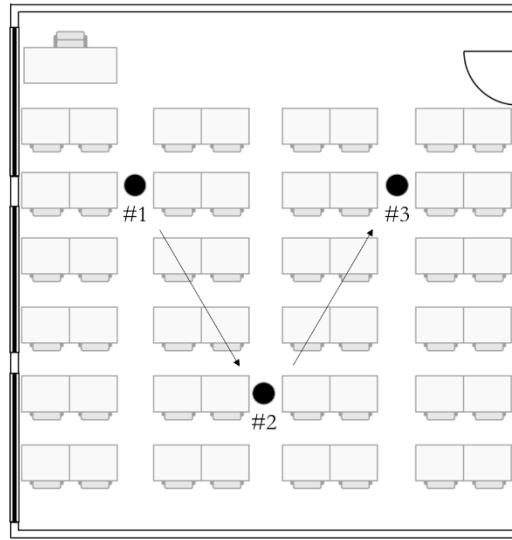


Figura 4.5 Localização e sequência dos pontos de amostragem

A localização dos pontos de amostragem teve em conta os seguintes critérios, de acordo com metodologia da APA (2010):

- Afastamento, de pelo menos 1 m, das fontes de contaminação (janelas e porta);
- Medição ao nível das vias respiratórias (equipamentos pousados sobre as secretárias);
- Disposição do mobiliário e facilidade de circulação pela sala, de modo a minimizar a interferência nas atividades letivas.

Para cada um dos três pontos de amostragem (#1, #2 e #3), e para os parâmetros COV_T , CO_2 , CO , T e HR , foram realizadas três amostragens discretas, com um tempo de medição de 1 minuto. Para os parâmetros PM_{10} e $PM_{2,5}$, apenas foi realizada uma amostragem discreta, com um tempo de medição de 3 minutos (no ponto de amostragem #3). As amostragens foram realizadas ao longo dos 90 minutos de aula, em três momentos distintos, 15 minutos após o início da aula, 45 minutos após o início da aula e 75 após o início da aula, totalizando um conjunto de nove leituras.

Todas as medições foram registadas numa ficha de amostragem produzida para este estudo, por forma a sistematizar as informações recolhidas (Figura 4.6).

FICHA DE AMOSTRAGEM – MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR											
Data: _____ Sala Verde <input type="checkbox"/> Sala Neutra <input type="checkbox"/>											
N.º sala: _____ Área: _____ Capacidade: _____ N.º ocupantes: _____ Turma: _____											
Hora aula: _____ Docente: _____											
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS											
Dia de sol <input type="checkbox"/> Dia encoberto <input type="checkbox"/> Dia de chuva <input type="checkbox"/>											
CONDIÇÕES GERAIS DA SALA											
Ventilação natural <input type="checkbox"/> Ventilação mecânica <input type="checkbox"/> N.º janelas: _____ Janelas abertas <input type="checkbox"/> Janelas fechadas <input type="checkbox"/> Porta aberta <input type="checkbox"/> Porta fechada <input type="checkbox"/>											
15 min	Hora	COV _T (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	T (°C)	HR (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
	Posto #1										
	Posto #2										
	Posto #3										
45 min	Hora	COV _T (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	T (°C)	HR (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
	Posto #1										
	Posto #2										
	Posto #3										
75 min	Hora	COV _T (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	T (°C)	HR (%)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
	Posto #1										
	Posto #2										
	Posto #3										

Figura 4.6 Ficha de amostragem - monitorizações pontuais da QAI

Para as medições pontuais foram utilizados os equipamentos portáteis de leitura direta identificados na Tabela 4.7 e Figura 4.7, que se encontravam devidamente calibrados pelo fabricante. As características técnicas dos equipamentos apresentam-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.7 Equipamentos portáteis de leitura direta utilizados nas medições pontuais

Marca	Modelo	N.º Série	Parâmetros medidos
GrayWolf	AdvancedSense BE	BE1174	Compostos orgânicos voláteis totais (COV _T) Dióxido de carbono (CO ₂) Monóxido de carbono (CO) Temperatura (T) Humidade relativa (HR)
Lighthouse	Handheld 3016 IAQ	101244016	Partículas em suspensão (fração PM ₁₀) Partículas em suspensão (fração PM _{2,5})



Figura 4.7 Equipamentos portáteis de leitura direta utilizados nas medições de QAI

Tabela 4.8 Características técnicas dos equipamentos de leitura direta (GrayWolf, 2019; *Lighthouse*, 2021)

GrayWolf AdvancedSense BE	Lighthouse Handheld 3016 IAQ
<p>Resolução 0.1 Pa, 001 cm H₂O, 0.01 mm H₂O, 0.001 mbar, 0.001 mmHg</p>	<p>Sensibilidade 0.2 µm – 25.0 µm</p>
<p>Intervalo medição ±10.000 Pa, ±40 cm H₂O, ±1000 mm H₂O, ±100 mbar, ±70 mmHg</p>	<p>Intervalo medição 0.3 µm – 10.0 µm</p>

Para tratamento dos dados recolhidos foi realizada uma análise estatística simplificada, com cálculo de médias e desvio padrão, com recurso ao programa *Microsoft Excel*.

4.6. Avaliação do bem-estar dos alunos

A avaliação do bem-estar dos alunos, foi realizada através da aplicação de questionários, desenvolvidos pelo Departamento de Psicologia Social e das Organizações do ISCTE, no âmbito dos projetos GreenAir/RESpira, tendo o estudo sido aprovado pela Comissão de Ética e pelo Encarregado de Proteção de Dados do ISEL.

Os questionários foram aplicados nas duas fases do estudo, “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*”, durante os primeiros ou últimos 15 minutos da aula, nas datas e aulas apresentadas na Tabela 4.3. O seu preenchimento foi realizado online, com recurso a dispositivos eletrónicos (e.g., smartphones, tablets, computadores portáteis) dos próprios estudantes, através do fornecimento de um código para acesso ao link no site *Mentimeter*. Cada questionário tinha uma duração de preenchimento aproximada de 15 minutos.

O questionário, disponível no Anexo A, é composto por perguntas de carácter quantitativo e qualitativo e, uma vez que o estudo se desenvolve em duas fases, e por forma a garantir o emparelhamento das respostas (de forma a permitir a comparação das respostas antes da instalação da EVN e após a instalação da EVN) sem colocar em causa o anonimato dos participantes, foi incluído um conjunto de seis questões, com a finalidade de gerar um código alfanumérico de 9 caracteres.

Na primeira parte do questionário é feita a apresentação e enquadramento do estudo e apresentado o consentimento informado, sendo que o questionário apenas é iniciado após indicação expressa do consentimento pelo participante. Os dados recolhidos foram os seguintes:

- Medidas demográficas gerais: idade; género; nacionalidade; meio habitacional onde reside; condição profissional; estatuto social subjetivo e doenças ou incapacidades diagnosticadas;
- Medidas associadas à COVID-19: impacte da COVID-19 no bem-estar e exposição à COVID-19;

- Medidas associadas ao ISEL: ano de ingresso no ISEL; ciclo de estudos que frequenta; curso que frequenta; estatuto especial de estudante; identificação com o ISEL; turma; sala onde habitualmente tem aulas e presença de elementos na sala de aula;
- Medidas de identidade ecológica;
- Medidas associadas à saúde física e mental;
- Medidas de produtividade e autoeficácia;
- Medidas associadas ao ambiente físico da sala de aula.

Para o desenvolvimento do questionário foram utilizadas, com as devidas adaptações e tradução, as seguintes escalas:

- Identificação Organizacional (Mael & Ashforth, 1992);
- Identidade Ecológica (Whitmarsh et al., 2018);
- *General Anxiety Disorder* (GAD-7) (Williams, 2014);
- *Subjective Well-being* (Diener et al., 1985);
- *Mental Health Inventory* (MHI-5) (A. Santos & Novo, 2020);
- *Positive Affect Negative Affect Scale* (PANAS – short version) (Galinha & Pais-Ribeiro, 2005);
- *Psychological Capital* (Luthans & Youssef-morgan, 2017);
- *Academic Self-Efficacy Scale* (Sachithra et al., 2017);
- *Self-report Productivity* (Clements-Croome & Kaluarachchi, 1997);
- *Subjective Well-being in class* (Lindemann-matthies et al., 2021);
- *Environmental Assessment Scale* (Lohr & Pearson-mims, 2000);
- *Indoor Environment Acceptability* (Rohles et al., 1989);
- *Indoor Climate Rating Scale* (Norbäck, 1995);
- *MM040 Schools Questionnaire* (Sick Building Syndrome) (Andersson et al., 1999).

Na parte final do questionário é ainda apresentada uma mensagem de agradecimento e disponibilizadas algumas ligações para recursos e serviços de apoio, assim como os contactos a utilizar para eventuais esclarecimentos.

Neste estudo foi utilizada a amostra de conveniência, composta pelos estudantes presentes em cada uma das salas (SV e SN) no momento da recolha de dados, que aceitaram participar.

O tratamento dos dados recolhidos foi realizado pelo Departamento de Psicologia Social e das Organizações do ISCTE, através de uma análise descritiva e de uma análise de comparação de resultados médios entre as diferentes salas, com recurso a um software de análise de dados.

Todos os dados recolhidos encontram-se anonimizados, e serão guardados apenas pelo tempo necessário à sua publicação científica.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Monitorização da qualidade do ar interior

Os resultados das monitorizações da qualidade do ar interior (QAI) foram analisados em duas fases. Uma primeira, onde se fez a comparação dos resultados obtidos na primeira fase do estudo (“*Antes da instalação da EVN*”) com os limiares de proteção estabelecidos na Portaria n.º 138-G/2021 (Figura 2.2). E uma segunda fase, onde se fez a comparação dos resultados obtidos na primeira fase do estudo (“*Antes da instalação da EVN*”) com os resultados obtidos na segunda fase do estudo (“*Após a instalação da EVN*”).

Tendo sido efetuadas medições em dias e aulas (horas) distintos, optou-se por organizar os resultados por horas, desde a primeira até à última aula, de modo a perceber a evolução das concentrações dos poluentes ao longo do dia. Esta análise simplificada constitui uma das limitações do estudo, uma vez que as concentrações de poluentes poderão ser influenciadas por uma série de fatores não controlados, entre os quais as condições meteorológicas, os níveis de poluentes no exterior, a abertura e fecho de portas e janelas pelos ocupantes da sala, e as limpezas extraordinárias das salas (por exemplo durante o tempo das aulas).

Na primeira fase do estudo foram realizadas cinco medições de QAI (com ocupação) em cada uma das salas, Sala Verde (SV) e Sala Neutra (SN), em horários distintos, e uma medição em vazio (sem ocupação), no período entre as 08H00 e as 09H30. Na segunda fase do estudo foram realizadas quatro medições de QAI (com ocupação) na SV, três medições de QAI (com ocupação) na SN, em horários distintos, e uma medição em vazio (sem ocupação) em cada uma das salas, no período entre as 08H00 e as 09H30, conforme detalhado na Tabela 4.3 do capítulo anterior.

Tal como referido anteriormente, para cada medição foram recolhidas três leituras de um minuto, em três pontos da sala (#1, #2 e #3) e em três momentos distintos (15 minutos após o início da aula, 45 minutos após o início da aula e 75 minutos após o início da aula), para os parâmetros COV_T , CO_2 , CO , T e HR , e uma leitura de três minutos, no ponto #3, nos mesmos momentos da aula, para os parâmetros PM_{10} e $PM_{2,5}$. As leituras foram recolhidas de acordo com a sequência apresentada na Figura 4.5 do capítulo anterior.

Para cada horário, o resultado de cada parâmetro corresponde à média aritmética das nove leituras recolhidas, no caso dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, T e HR, e das três leituras recolhidas, no caso dos parâmetros PM₁₀ e PM_{2,5}. O número de ocupantes reflete a média de ocupantes durante o período de medição. Os resultados acima dos limiares de proteção estabelecidos na Portaria n.º 138-G/2021 encontram-se destacados a vermelho nas tabelas que se apresentam de seguida. Os quadros gerais com os resultados das monitorizações encontram-se disponíveis no Anexo B.

Primeira fase: “Antes da instalação da EVN”

Os resultados obtidos nas medições de QAI realizadas na SV e SN, “Antes da instalação da EVN” apresentam-se nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2, respetivamente.

Tabela 5.1 Concentrações médias dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, T e HR, para as medições realizadas na SV, “Antes da instalação da EVN”

Data	N.º ocupantes	Aula	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
Limiares de proteção Portaria n.º 138-G/2021			600	1250	9	50	25	-	-
			µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
03/05/2022	<i>vazio</i>	08H00 - 09H30 ⁽¹⁾	858.90	453.00	1.00	33.98	19.35	20.50	51.50
03/05/2022	27	11H00 - 12H30 ⁽¹⁾	268.12	878.44	0.84	49.84	11.81	20.81	47.52
03/05/2022	20	15H30 - 17H00 ⁽¹⁾	109.07	921.33	0.67	52.16	10.72	22.26	51.79
05/05/2022	15	15H30 - 17H00 ⁽¹⁾	678.67	1490.11	0.84	47.75	14.31	26.76	46.66
05/05/2022	23	18H30 - 20H00 ⁽¹⁾	203.44	993.00	0.73	43.00	16.18	25.21	44.34
03/05/2022	8	20H00 - 21H30 ⁽¹⁾	27.27	589.67	0.63	49.97	13.02	21.20	48.80

Condições de ventilação: (1) Janelas fechadas e porta aberta; (2) Janelas fechadas e porta fechada

Tabela 5.2 Concentrações médias dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, T e HR, para as medições realizadas na SN, “Antes da instalação da EVN”

Data	N.º ocupantes	Aula	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
Limiares de proteção Portaria n.º 138-G/2021			600	1250	9	50	25	-	-
			µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
03/05/2022	<i>vazio</i>	08H00 - 09H30 ⁽¹⁾	777.10	498.00	0.90	17.75	8.68	20.60	51.80
03/05/2022	19	11H00 - 12H30 ⁽²⁾	218.13	1325.33	0.78	50.68	9.73	20.19	57.51
05/05/2022	15	11H00 - 12H30 ⁽¹⁾	225.11	914.33	1.03	56.83	14.80	23.40	51.89
03/05/2022	12	15H30 - 17H00 ⁽¹⁾	81.80	850.89	0.76	53.19	10.68	22.58	50.00
05/05/2022	6	18H30 - 20H00 ⁽¹⁾	121.00	924.44	0.78	31.01	10.63	25.28	43.86
03/05/2022	5	20H00 - 21H30 ⁽²⁾	72.71	524.11	0.69	41.34	13.44	21.10	48.18

Condições de ventilação: (1) Janelas fechadas e porta aberta; (2) Janelas fechadas e porta fechada

Analisando os resultados, verifica-se que a SN apresenta um maior número de incumprimentos dos limiares de proteção, tendo sido registados cinco incumprimentos na SN e quatro incumprimentos na SV. Tanto na SV, como na SN, apenas se verificaram incumprimentos para os parâmetros COV_T, CO₂ e PM₁₀, tendo o maior número de incumprimentos sido registado para o parâmetro PM₁₀ (quatro incumprimentos no total das duas salas).

Embora pontualmente se observem incumprimentos comuns nas duas salas, não é possível observar um padrão de incumprimento para a generalidade dos parâmetros. Apesar de na SN se ter registado um maior número de incumprimentos, uma comparação global das médias dos poluentes COV_T, CO₂, CO e PM_{2,5} e PM₁₀ permite verificar que é na SV que se registam concentrações mais elevadas de poluentes (Tabela 5.3). No entanto, o número de ocupantes nesta sala é também superior, o que poderá influenciar de forma significativa os resultados obtidos. É importante, contudo, lembrar, que estas medições foram realizadas “*Antes da instalação da EVN*”.

Tabela 5.3 Médias globais e desvio padrão dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, T e HR, na SV e SN, “*Antes da instalação da EVN*”

		COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
		µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Sala Verde (SV)	<i>Média</i>	357.58	887.59	0.79	46.12	14.23	22.79	48.44
	<i>Desvio padrão</i>	304.70	292.01	0.09	3.10	1.91	2.34	2.46
Sala Neutra (SN)	<i>Média</i>	249.31	839.52	0.82	41.80	11.33	22.19	50.54
	<i>Desvio padrão</i>	243.53	278.41	0.11	13.72	2.12	1.77	4.13

A análise dos desvios padrão permite ainda observar uma grande variação das concentrações de COV_T e CO₂ em ambas as salas, com valores a variar entre 27,27 µg/m³ – 858,90 µg/m³ para o parâmetro COV_T e os 453,00 µg/m³ – 1490,11 µg/m³ para o parâmetro CO₂ (Tabela 5.1).

Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV_T)

As concentrações mais elevadas de COV_T, quer na SV como na SN, “*Antes da instalação da EVN*”, registaram-se no horário das 08H00-09H30 (medições em vazio), verificando-se uma diminuição ao longo do dia (Figura 5.1, Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

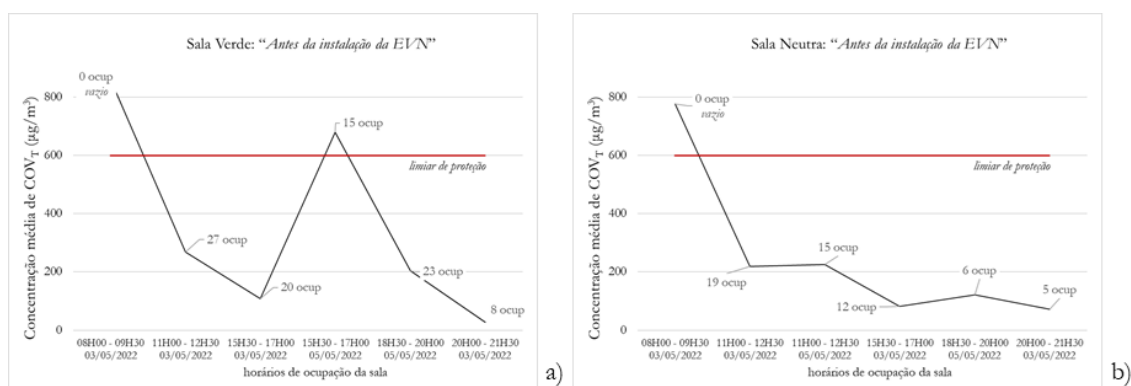


Figura 5.1 Concentrações médias do parâmetro COV_T, “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN

As concentrações mais elevadas na primeira hora, mesmo sem a presença de ocupantes, poderão estar relacionadas com o facto de as salas permanecerem fechadas durante todo o período da noite (após a última aula e até à primeira aula da manhã) não existindo renovação do ar, o que contribui para a acumulação de COV emitidos pelos materiais de construção e mobiliário, tal como observado por Chithra & Nagendra (2018), em diversos estudos. Outro dos fatores que poderá contribuir para as elevadas concentrações de COV na primeira aula é a limpeza das salas, que é realizada de manhã cedo em alguns dias da semana, uma vez que os produtos utilizados para limpeza dos pavimentos, portas, janelas e mobiliário contêm uma pequena quantidade de COV (Safar et al., 2019).

A partir a primeira aula, a concentração de COV_T tende a diminuir de forma progressiva, o que estará relacionado com a abertura das portas durante as aulas e, conseqüentemente, com o aumento da ventilação dos espaços o que, segundo a Organização Mundial da Saúde (2010) contribui para a diluição de COV_T no ar.

O pico observado na SV, na aula das 15H00 – 17H30, poderá estar relacionado com a utilização de desinfetantes de base alcoólica, disponíveis em todas as salas como medida de prevenção da pandemia de COVID-19, uma vez que o etanol é um dos exemplos de substâncias químicas classificadas como um COV pela Environmental Protection Agency (2021).

Apesar do pico registado na SV, observa-se uma tendência semelhante ao longo do dia para as duas salas, com uma diminuição progressiva da concentração de COV_T até à última aula.

Dióxido de Carbono (CO₂)

As concentrações de CO₂ “Antes da instalação da EVN”, variam de forma diferente ao longo do dia, em cada uma das salas. Embora seja possível verificar uma tendência de crescimento seguido de decréscimo, as duas salas apresentam variações consideravelmente distintas (Figura 5.2, Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

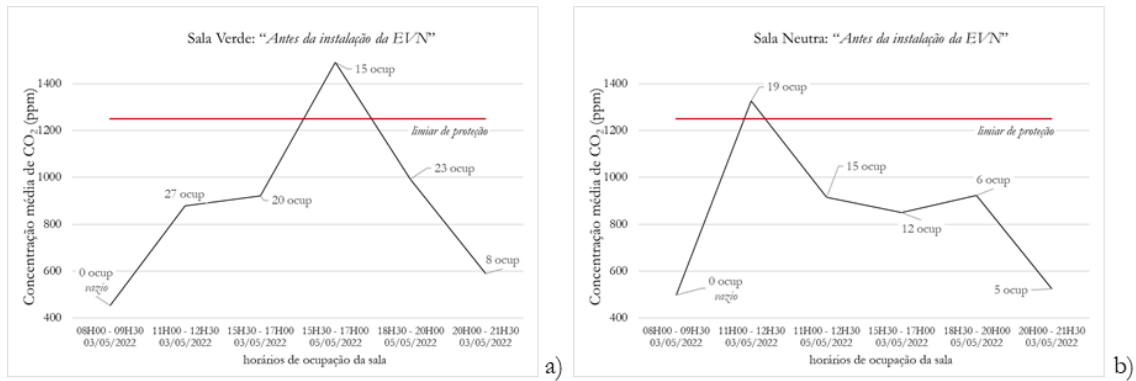


Figura 5.2 Concentrações médias do parâmetro CO₂, “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN

Embora se consiga verificar uma relação entre a ocupação dos espaços e os níveis de CO₂ em determinados momentos, esta relação não é consistente ao longo do dia, verificando-se existir períodos de maior ocupação a que correspondem menores concentrações de CO₂. Estes resultados são contrários aos obtidos em estudos semelhantes, que indicam a existência de uma forte relação entre as concentrações de CO₂ e o número de ocupantes (Ferreira & Cardoso, 2013; Gennaro et al., 2014; Pegas et al., 2010; Rodrigues & Feliciano, 2013).

Contrariamente ao proposto por Ferreira & Cardoso (2013), também não foi possível observar uma relação consistente entre elevados níveis de CO₂ e elevadas concentrações de outros poluentes, uma vez que os picos de concentração de CO₂, quer na SV como na SN, não coincidiram com as concentrações máximas registadas para os restantes poluentes.

Estes resultados poderão estar relacionados com a abertura não controlada da porta e janelas durante as aulas, que, tal como observado por Schibuola et al. (2016), num estudo de QAI realizado em duas escolas secundárias do norte e Itália, promove uma rápida e considerável descida nos níveis de CO₂ nas salas. Também Dutton & Shao (2010), num estudo desenvolvido numa escola primária do Reino Unido, verificaram que a abertura das janelas pelos ocupantes tem um impacto significativo na qualidade do ar interior das salas de aula.

Monóxido de Carbono (CO)

A variação das concentrações de CO “Antes da instalação da EVN”, para além de pouco expressiva, apresenta um padrão semelhante em ambas as salas (Figura 5.3, Tabela 5.1 e Tabela 5.2Tabela 5.4).

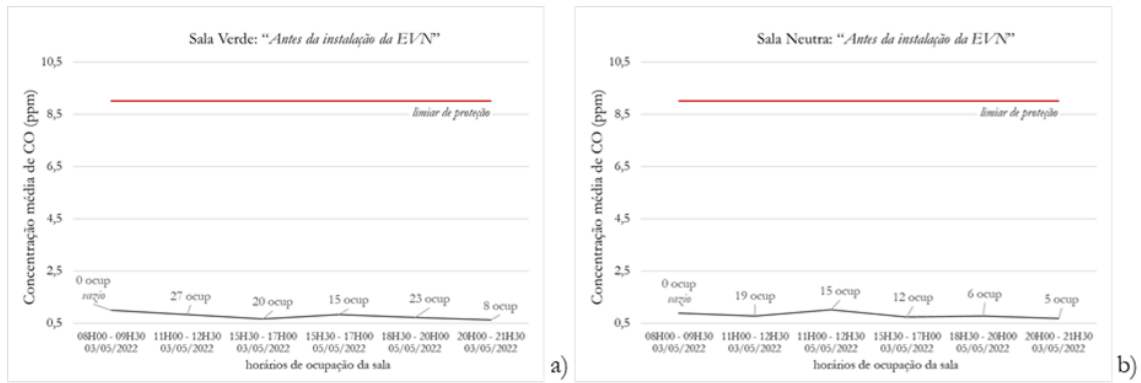


Figura 5.3 Concentrações médias do parâmetro CO, “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN

Segundo Santos (2010), as concentrações interiores de CO estão essencialmente relacionadas com a presença de fontes interiores ou com fontes exteriores, como o tráfego automóvel. Não havendo fontes interiores nas salas estudadas, e estando os níveis exteriores de CO abaixo dos valores limite definidos pela legislação vigente³ (de acordo com as estatísticas disponibilizadas pelo sistema de informação da qualidade do ar, QualAr, pela APA), estes resultados estão dentro do esperado.

Partículas em suspensão, fração PM₁₀

As concentrações de PM₁₀ “Antes da instalação da EVN”, variam de forma semelhante nas duas salas, ao longo do dia. Embora o pico máximo se registre em aulas diferentes, verifica-se uma tendência semelhante, com um aumento das concentrações até um pico máximo, seguido de um decréscimo e de um novo aumento (Figura 5.4, Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

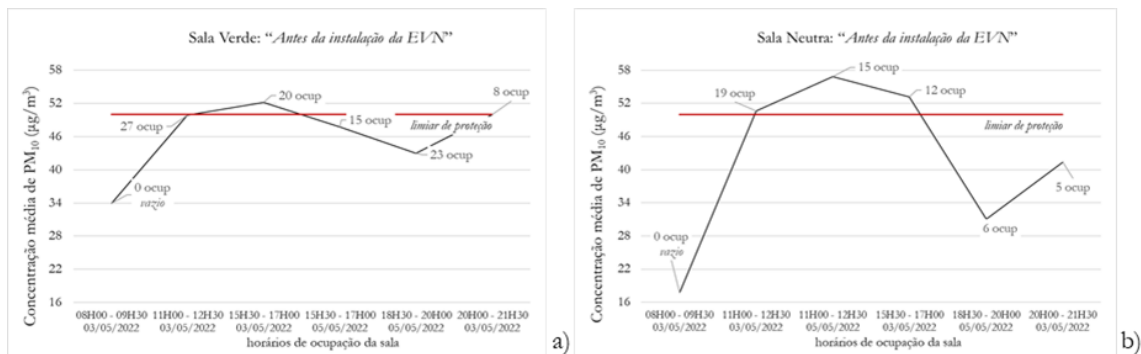


Figura 5.4 Concentrações médias do parâmetro PM₁₀, “Antes da instalação da EVN”: a) SV; b) SN

³ Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de setembro, que fixa os objetivos para a qualidade do ar ambiente tendo em conta as normas, as orientações e os programas da Organização Mundial da Saúde, destinados a evitar, prevenir ou reduzir as emissões de poluentes atmosféricos (Decreto-Lei n.º 102/2012 do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2010).

De acordo com Gennaro et al. (2014), e com base na revisão de diversos estudos desenvolvidos em escolas, existe evidência de que a contribuição mais importante para as concentrações de partículas nas salas de aula será a ressuspensão de partículas provocada pela atividade dos alunos. Esta evidência pode justificar o acentuado aumento da concentração de PM_{10} após as medições em vazio de ambas as salas, contudo, a mesma relação não se observa de forma consistente para as restantes aulas, observando-se picos de concentração em aulas com menor número de alunos.

Ainda assim, e observando as aulas onde o limiar de proteção é ultrapassado, é possível verificar uma relação entre os máximos de concentração de PM_{10} e os maiores níveis de ocupação das aulas.

Partículas em suspensão, fração $PM_{2,5}$

As concentrações de $PM_{2,5}$ “*Antes da instalação da EVN*” variam de forma significativamente diferente em cada uma das salas, ao longo do dia, com padrões praticamente inversos (Figura 5.5, Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

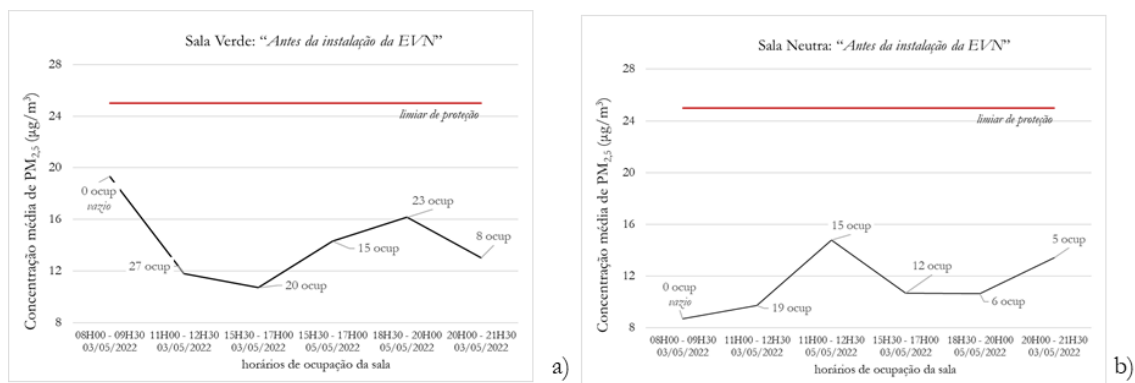


Figura 5.5 Concentrações médias do parâmetro $PM_{2,5}$ “*Antes da instalação da EVN*”: a) SV; b) SN

Enquanto na SV se verifica um acentuado decréscimo da concentração de $PM_{2,5}$ após a medição em vazio, na SN a variação é pouco acentuada. Estes resultados são contrários aos observado por Settimo et al., (2020), num estudo desenvolvido em escolas em Roma, onde se verificou o rápido aumento das concentrações de $PM_{2,5}$ com o início das atividades dos estudantes.

Por outro lado, Settimo et al., (2020) verificaram também existir uma relação entre a abertura das janelas e a diminuição temporária das concentrações de $PM_{2,5}$, o que poderá justificar o decréscimo inicial de concentração na SV, uma vez que as portas permaneceram abertas a partir da primeira aula.

Temperatura (T)

As temperaturas médias nas duas salas “*Antes da instalação da EVN*”, são bastante semelhantes, com valores a oscilar entre os 20 °C e os 27 °C (Figura 5.6, Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

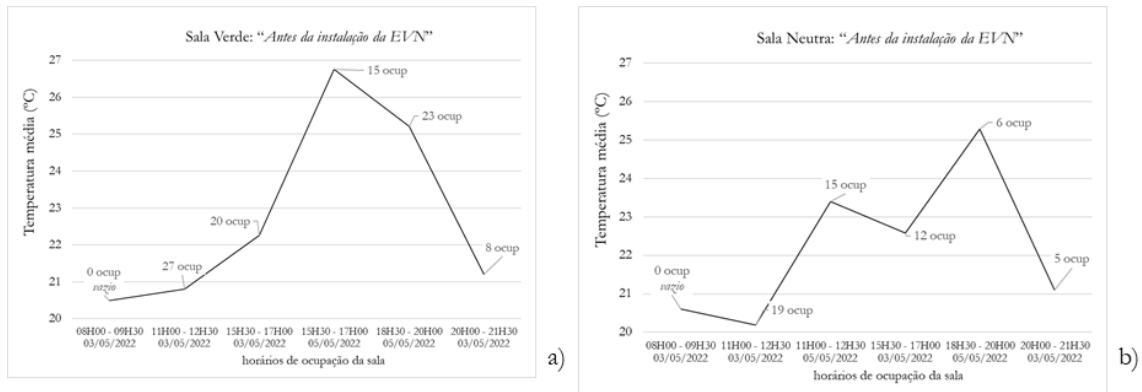


Figura 5.6 Valores médios do parâmetro Temperatura (T), "Antes da instalação da EVN": a) SV; b) SN

Embora a legislação relativa à qualidade do ar interior não identifique valores de referência para a temperatura, o Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto⁴ recomenda que a temperatura nos locais de trabalho oscile entre os 18 °C e os 22 °C, podendo, em determinadas condições climatéricas, atingir os 25 °C (Decreto-Lei n.º 243/86 do Ministério do Trabalho e da Segurança Social, 1986).

Atendendo a este intervalo, pode verificar-se que os valores registados nas salas, com exceção de um pico aos 27 °C registado na SV, se encontram dentro dos valores recomendados (entre os 18 °C e os 25 °C). É, contudo, necessário relembrar que este estudo decorreu na Primavera, e que as temperaturas exteriores se encontravam muito próximas das registadas no interior.

Humidade Relativa (HR)

As humidades relativas médias nas duas salas são bastante semelhantes, com valores a oscilar entre os 43 % e os 58 % (Figura 5.7, Tabela 5.1 e Tabela 5.2).

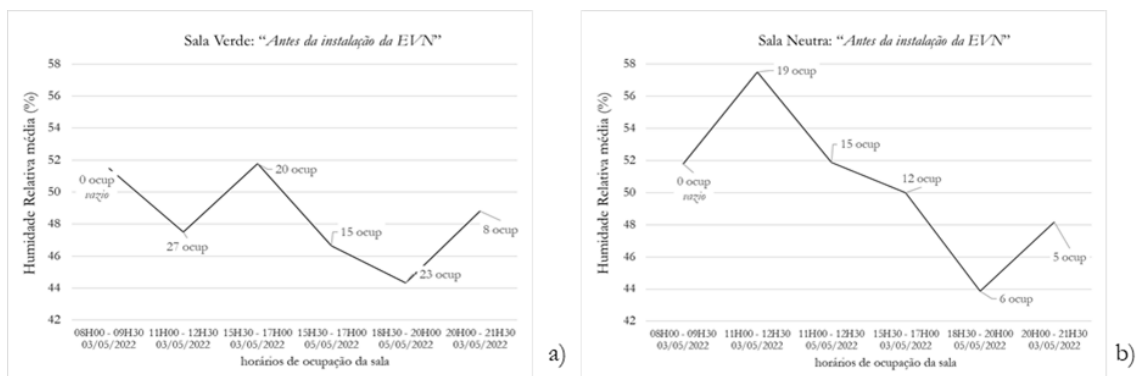


Figura 5.7 Valores médios do parâmetro Humidade Relativa (HR), "Antes da instalação da EVN": a) SV; b) SN

⁴ Regulamento Geral de Higiene e Segurança do Trabalho nos Estabelecimentos Comerciais, de Escritórios e Serviços.

À semelhança do referido para a temperatura, a legislação relativa à qualidade do ar interior não identifica valores de referência para a humidade relativa, no entanto, o Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto recomenda humidades relativas entre os 50 % e os 70 % (Decreto-Lei n.º 243/86 do Ministério do Trabalho e da Segurança Social, 1986).

Atendendo a este intervalo, pode verificar-se que os valores de humidade relativa registados nas salas se encontram, na generalidade, abaixo dos valores recomendados, o que poderá ser prejudicial para a saúde dos ocupantes, uma vez que pode promover o aumento de sintomas na pele (secura, erupção cutânea), irritação nos olhos e secura das mucosas nasais (Coentro, 2015).

Segunda fase: “Após a instalação da EVN”

Os resultados obtidos nas medições de QAI realizadas na SV e SN “Após a instalação da EVN” apresentam-se nas Tabela 5.4 e Tabela 5.5, respetivamente.

Tabela 5.4 Concentrações médias dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, T e HR, para as medições realizadas na SV, “Após a instalação da EVN”

Data	N.º ocupantes	Aula	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
Límiars de proteção Portaria n.º 138-G/2021			600	1250	9	50	25	-	-
			µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
24/05/2022	vazjo	08H00 - 09H30 ⁽¹⁾	768.67	471.67	1.33	26.50	7.12	21.00	50.30
26/05/2022	23	11H00 - 12H30 ⁽¹⁾	222.78	977.33	0.73	72.32	4.84	24.90	38.19
24/05/2022	24	15H30 - 17H00 ⁽¹⁾	175.78	854.89	0.80	41.89	7.28	24.38	37.16
26/05/2022	17	18H30 - 20H00 ⁽¹⁾	263.44	1288.56	0.81	42.10	4.50	30.07	28.84
24/05/2022	7	20H00 - 21H30 ⁽¹⁾	89.67	452.89	0.38	49.03	0.45	18.62	54.32

Condições de ventilação: (1) Janelas fechadas e porta aberta; (2) Janelas fechadas e porta fechada

Tabela 5.5 Concentrações médias dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, T e HR, para as medições realizadas na SN, “Após a instalação da EVN”

Data	N.º ocupantes	Aula	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
Límiars de proteção Portaria n.º 138-G/2021			600	1250	9	50	25	-	-
			µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
24/05/2022	vazjo	08H00 - 09H30 ⁽¹⁾	1039.33	418.00	1.40	18.10	6.31	20.90	52.87
24/05/2022	24	11H00 - 12H30 ⁽¹⁾	91.56	908.33	0.97	53.26	7.17	23.70	38.53
26/05/2022	7	18H30 - 20H00 ⁽¹⁾	220.22	879.22	0.74	24.82	3.95	29.58	26.69
24/05/2022	4	20H00 - 21H30 ⁽¹⁾	107.00	468.33	0.57	41.81	9.29	19.40	51.32

Condições de ventilação: (1) Janelas fechadas e porta aberta; (2) Janelas fechadas e porta fechada

Na segunda fase do estudo, verifica-se que a SV apresenta um maior número de incumprimentos dos limiares de proteção, tendo sido registados três incumprimentos na SV e dois incumprimentos na SN, contudo, há que relembrar que na SN apenas foram realizadas três monitorizações com ocupação (tal como referido, algumas das salas não se encontravam ocupadas, não tendo sido possível realizar as monitorizações), o que poderá ter influência no número de incumprimentos identificados.

Na SV, os três incumprimentos foram verificados nos parâmetros COV_T , CO_2 , e PM_{10} , os mesmos parâmetros onde se verificaram os incumprimentos na primeira fase, embora em aulas diferentes, o que se verifica também na SN, para os parâmetros COV_T e PM_{10} .

Para verificar o impacte da instalação da EVN na sala SV fez-se a comparação das médias globais das medições pontuais de QAI obtidos em cada uma das fases: “*Antes a instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*”. É importante referir que as condições de amostragem não foram semelhantes em cada uma das fases, uma vez que, quer as ocupações médias das aulas, como o padrão de ocupação da sala (horas de ocupação diária), foram distintos entre as duas fases, o que constitui uma outra limitação do estudo.

Analisando as médias globais das concentrações de poluentes na SV, antes e após a instalação da ENV, verifica-se que para os parâmetros COV_T , CO_2 e $PM_{2,5}$, as médias das concentrações de poluentes são superiores na primeira fase do estudo, “*Antes da instalação da EVN*”, o que não se verifica para os parâmetros CO e PM_{10} , cujas concentrações de poluentes são superiores na segunda fase do estudo (Tabela 5.6), embora com valores próximos, relativamente à média.

Tabela 5.6 Médias globais dos parâmetros COV_T , CO_2 , CO, PM_{10} , $PM_{2,5}$, T e HR, na SV “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*”

		COV_T	CO_2	CO	PM_{10}	$PM_{2,5}$	T	HR
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$^{\circ}\text{C}$	%
<i>Antes da instalação da EVN</i>	<i>Média</i>	357.58	887.59	0.79	46.12	14.23	22.79	48.44
	<i>Desvio padrão</i>	304.70	292.01	0.09	3.10	1.91	2.34	2.46
<i>Após a instalação da EVN</i>	<i>Média</i>	304.07	809.07	0.81	46.37	4.84	23.79	41.76
	<i>Desvio padrão</i>	239.39	316.55	0.31	14.93	2.47	3.88	9.29

A análise dos desvios padrão permite ainda observar uma grande variação das concentrações COV_T e CO_2 em ambas as fases, com valores a variar entre $27,27 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 858,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o parâmetro COV_T e os $452,89 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 1490,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o parâmetro CO_2 (Tabela 5.1 e Tabela 5.4).

Estes resultados parecem indicar uma influência positiva da EVN na qualidade do ar interior da sala, uma vez que se verifica um decréscimo da concentração de COV_T , CO_2 e $PM_{2,5}$ na SV.

Estes resultados são ainda consistentes com os resultados obtidos em diversas investigações, onde foi estudado o efeito da instalação de paredes verdes na qualidade do ar interior. Tudiwer & Korjenic (2017), num estudo desenvolvido numa universidade da Áustria, verificaram que a instalação de uma

estrutura verde numa sala de aula permitiu reduzir uma pequena quantidade de CO₂ no ar interior. Pettit et al. (2019), num estudo realizado numa sala de aula de uma escola em Pequim, observaram um decréscimo das concentrações de COV em cerca de 28%, após a instalação de uma parede verde. Peterková et al. (2019) observaram também uma diminuição das concentrações de CO₂ numa sala de aula de uma universidade da República Checa, após a instalação de uma parede verde, e Shao et al. (2021), num estudo desenvolvido numa universidade na China, observaram que a instalação de uma parede verde num corredor interior permitiu reduzir os níveis de CO₂ e PM_{2,5} entre 12 % a 18% e 8% a 14%, respetivamente.

No presente estudo, apesar de se observar uma redução das concentrações médias globais de COV_T, CO₂ e PM_{2,5} na SV após a instalação da EVN, o mesmo não foi verificado para os parâmetros CO e PM₁₀.

Em relação ao CO os resultados continuaram pouco expressivos, indo ao encontro do verificado por Pegas et al., (2012) num estudo realizado numa escola em Aveiro, onde se observou que as concentrações de CO antes e após a colocação de uma série de plantas na sala, se mantiveram sempre baixas. Quando ao parâmetro PM₁₀, os resultados obtidos são diferentes dos observados em estudos semelhantes. No mesmo estudo acima referido, Pegas et al., (2012) observaram um decréscimo significativo das concentrações de PM₁₀ após a colocação das plantas na sala e Ibrahim et al., 2021, num estudo desenvolvido para verificar a eficácia da utilização de um sistema botânico de filtração do ar interior, observaram uma eficiência de remoção de PM₁₀ na ordem dos 54%.

Há, contudo, de salientar que estas contradições poderão ser resultado das condições de amostragem do estudo, uma vez que apenas foram realizadas monitorizações pontuais, e que as condições de ventilação (abertura da porta e janelas) não foram controladas. Será necessário um estudo mais detalhado e prolongado, com controlo da abertura da porta e janelas, para se obter resultados mais consistentes.

Em relação à humidade relativa, embora se observe uma redução da média global na SV após a instalação da EVN, que é por sua vez consistente com os resultados de um estudo desenvolvido por Tudiwer & Korjenic (2017) para verificar o efeito de um parede verde interior na temperatura e humidade de uma sala de aula, são inúmeros os fatores que a influenciam, como por exemplo a temperatura ambiente e a pressão do ar (Health and Safety Executive, 2022), tornando-se necessário um estudo mais alargado, e em condições controladas, para verificar a influência de uma EVN na sua variação.

O mesmo se aplica em relação à temperatura, uma vez que, ainda de acordo com Tudiwer & Korjenic (2017), a influência da parede verde no clima interior é mais relevante no inverno do que no verão, tornando necessário um estudo alargado às diversas estações do ano.

Comparação dos resultados das medições de QAI realizadas na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Atendendo às diferentes condições de amostragem em cada uma das fases que, como referido anteriormente, se deveram à alteração de algumas aulas, para a análise do impacte da instalação da EVN em cada um dos poluentes, foram considerados apenas os resultados das medições efetuadas no mesmo horário e mesmo dia da semana, em cada uma das salas (SV e SN, respetivamente), conforme apresentado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 Aulas consideradas para a comparação dos resultados das medições de QAI realizadas na SV e SN na segunda fase do estudo

Após a instalação da EVN	
Sala Verde	Sala Neutra
24 maio 2022 08H00 - 09H30 Vazio	24 maio 2022 08H00 - 09H30 Vazio
26 maio 2022 18H30 - 20H00 Turma C	26 maio 2022 18H30 - 20H00 Turma I
24 maio 2022 20H00 - 21H30 Turma C	24 maio 2022 20H00 - 21H30 Turma F

Atendendo à seleção efetuada, os resultados obtidos nas medições de QAI realizadas na SV e SN, “Após a instalação da EVN”, apresentam-se na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 Concentrações médias dos parâmetros COV_T, CO₂, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, T e HR na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Aula	Sala	N.º ocupantes	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
Límiars de proteção Portaria n.º 138-G/2021			600	1250	9	50	25	-	-
			µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
08H00 - 09H30	Sala Verde	0	768.67	471.67	1.33	26.50	7.12	21.00	50.30
	Sala Neutra	0	1039.33	418.00	1.40	18.10	6.31	20.90	52.87
18H30 - 20H00	Sala Verde	17	263.44	1288.56	0.81	42.10	4.50	30.07	28.84
	Sala Neutra	7	220.22	879.22	0.74	24.82	3.95	29.58	26.69
20H00 - 21H30	Sala Verde	7	89.67	452.89	0.38	49.03	0.45	18.62	54.32
	Sala Neutra	4	107.00	468.33	0.57	41.81	9.29	19.40	51.32

Seguidamente, e para cada um dos parâmetros monitorizados, é feita uma análise comparativa entre os resultados obtidos na SV e na SN, após a instalação da EVN.

Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV_T)

As concentrações mais elevadas de COV_T, quer na SV como na SN, registaram-se na primeira medição (vazio), verificando-se uma descida progressiva ao longo do dia (Figura 5.8 e Tabela 5.8).

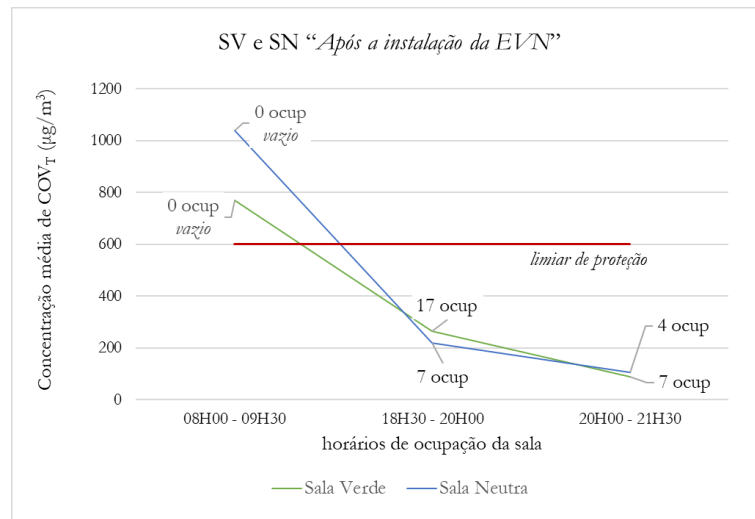


Figura 5.8 Concentrações médias do parâmetro COV_T, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Contrariamente ao observado na primeira fase do estudo, após a primeira aula não se registou nenhum pico acentuado, tendo as concentrações permanecido abaixo do limiar de proteção e entre valores relativamente baixos. À semelhança do sugerido para a primeira fase do estudo, as concentrações mais elevadas na primeira hora, poderão estar relacionadas com o facto de as salas permanecerem fechadas durante todo o período da noite, o que contribuirá para a acumulação de COV no ar, assim como com a limpeza das salas, realizada antes do início das aulas, que promove a libertação de COV presentes nos produtos de limpeza. A partir da primeira hora, o arejamento da sala, promovido pela abertura da porta, contribuirá para a diminuição progressiva das concentrações de COV ao longo do dia.

Comparando as concentrações de COV_T na SV e SN, observam-se concentrações mais elevadas na SV do que na SN, na aula das 18H00-20H00, no entanto, o número de ocupantes na SV é consideravelmente superior (mais do dobro). Na aula seguinte, das 20H00-21H30, o padrão é invertido, observando-se menores níveis de COV_T na SV, mesmo com ocupações superiores, o que poderá indicar um efeito positivo da EVN da diminuição das concentrações de COV_T.

Dióxido de Carbono (CO₂)

As concentrações de CO₂ ao longo do dia variam de forma semelhante para as duas salas, embora seja possível verificar a existência de concentrações mais baixas na SN (Figura 5.9 e Tabela 5.8).

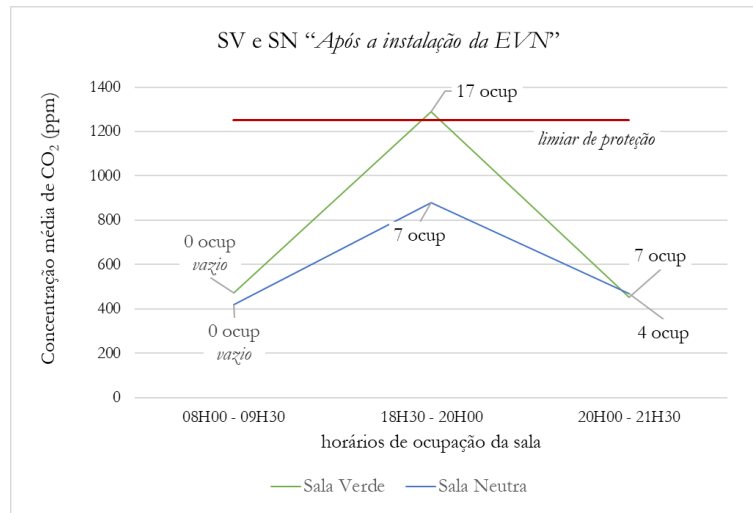


Figura 5.9 Concentrações médias do parâmetro CO₂, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Comparando as concentrações de CO₂ na SV e SN, observam-se concentrações de CO₂ mais elevadas na SV do que na SN, no horário das 08H00-09H30 e 18H30-20H00, e concentrações muito próximas para as duas salas, na aula das 20H00-21H30.

Nas medições em vazio (08H00-09H30), as concentrações mais elevadas de CO₂ na SV poderão estar relacionadas com a emissão de CO₂ pelas plantas, resultado do processo de respiração durante o período na noite (devido aos baixos níveis de iluminação), tal como sugerido por Treesubstorn & Thiravetyan (2018).

Já na aula das 18H30-20H00, as concentrações mais elevadas de CO₂ na SV estarão relacionadas com os níveis de ocupação da sala, uma vez que a SV apresenta mais do dobro dos ocupantes que a SN.

Na aula seguinte, das 20H00-21H30, e tal como observado para os COV_T, o padrão é invertido, observando-se menores níveis de CO₂ na SV, mesmo com ocupações superiores, o que poderá indicar um efeito positivo da EVN da diminuição das concentrações de CO₂.

Monóxido de Carbono (CO)

As concentrações de CO, quer na SV como na SN, encontram-se muito abaixo do respetivo limiar de proteção, sendo a sua variação pouco expressiva (Figura 5.10 e Tabela 5.8).

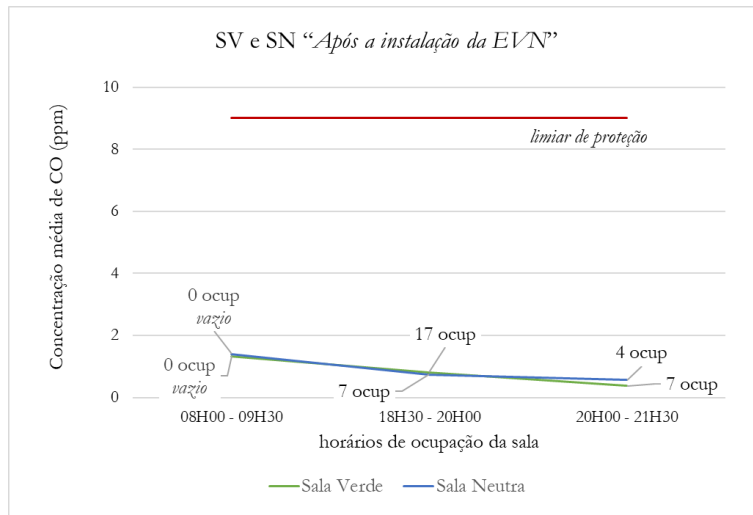


Figura 5.10 Concentrações médias do parâmetro CO, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Embora se observem padrões diferentes de variação das concentrações de CO nas aulas das 18H30-20H00 e 20H00-21H30, o facto de os valores de concentração se encontrarem muito próximos nas duas salas, não permite observar de forma clara, um efeito positivo da EVN na redução dos níveis de CO na sala.

Partículas em suspensão, fração PM₁₀

As concentrações de PM₁₀, apresentam padrões semelhantes em ambas as salas, SV e SN, com o aumento progressivo ao longo do dia (Figura 5.11 e Tabela 5.8).

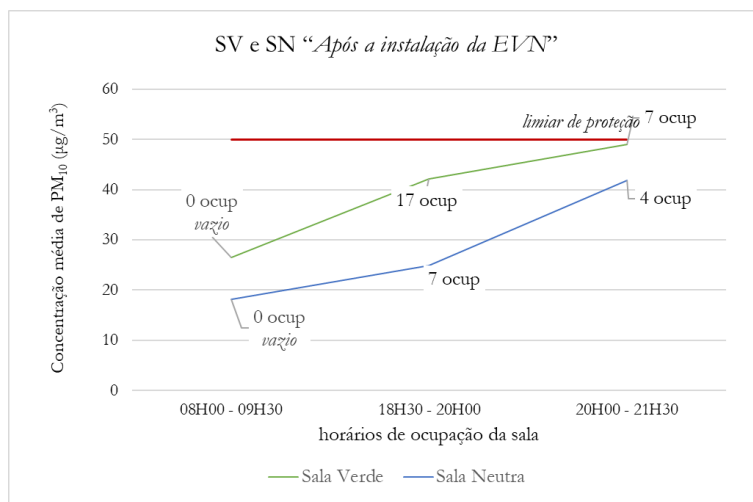


Figura 5.11 Concentrações médias do parâmetro PM₁₀, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Comparando as concentrações de PM_{10} na SV e SN, observam-se concentrações mais elevadas na SV do que na SN, o que poderá estar relacionado com a atividade das salas e com a presença de maior número de ocupantes, tal como sugerido por Gennaro et al. (2014).

Estes resultados são contrários aos observados por Pegas et al., (2012), num estudo semelhante no qual verificaram uma redução das concentrações de PM_{10} após a instalação de uma parede verde. Tal como referido anteriormente, estes resultados poderão estar relacionados com a abertura não controlada da porta e janelas durante as aulas, que tem um impacto significativo na qualidade do ar interior das salas de aula, tal como sugerido por Dutton & Shao (2010).

Partículas em suspensão, fração $PM_{2,5}$

As concentrações de $PM_{2,5}$ variam de forma diferente na SV e SN, observando-se uma tendência quase simétrica entre as duas salas (Figura 5.12 e Tabela 5.8).

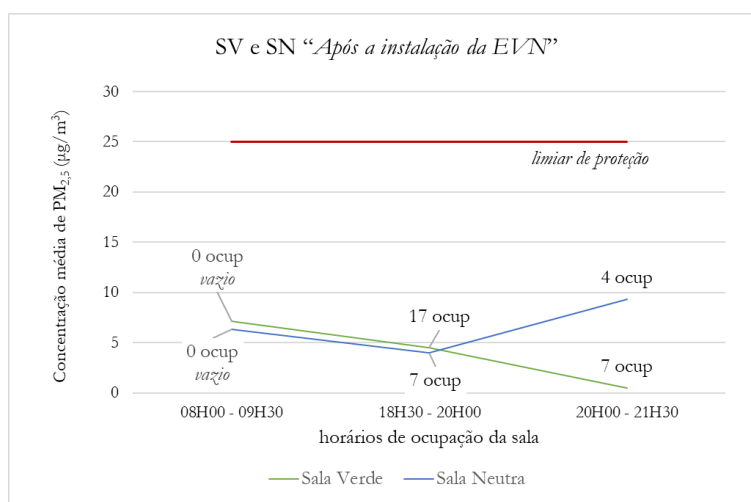


Figura 5.12 Concentrações médias do parâmetro $PM_{2,5}$, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Comparando as concentrações de $PM_{2,5}$ na SV e SN, observam-se concentrações mais elevadas na SV do que na SN, na aula das 18H30-20H00, no entanto, o número de ocupantes na SV é consideravelmente superior. Na aula seguinte, das 20H00-21H30, o padrão é invertido, observando-se menores níveis de $PM_{2,5}$ na SV, mesmo com ocupações superiores, o que poderá indicar um efeito positivo da EVN da diminuição das concentrações de $PM_{2,5}$.

Temperatura (T)

As temperaturas médias nas duas salas são bastante semelhantes, com valores a oscilar entre os 18 °C e os 31 °C (Figura 5.13 e Tabela 5.8).

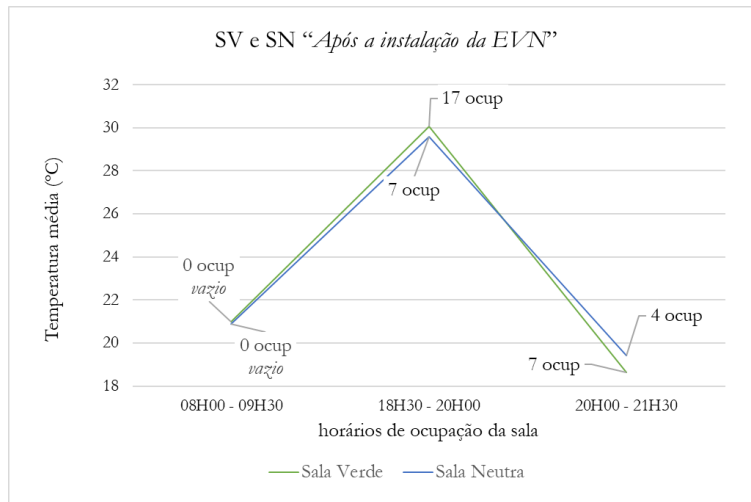


Figura 5.13 Temperatura média, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Tendo em conta o intervalo recomendado pelo Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto (18 °C – 25 °C), pode verificar-se que os valores registados nas salas, com exceção dos registados na aula das 18H30 – 20H00, se encontram dentro dos valores recomendados. Há, contudo, que referir que, embora o estudo se tenha realizado na Primavera, nos dias das medições foram registadas temperaturas exteriores bastante elevadas, atípicas para a estação do ano, e que estão na origem dos picos observados.

Humidade Relativa (HR)

As humidades relativas médias nas duas salas são bastantes semelhantes, com valores a oscilar entre os 26 % e os 54,4 % (Figura 5.14 e Tabela 5.8).

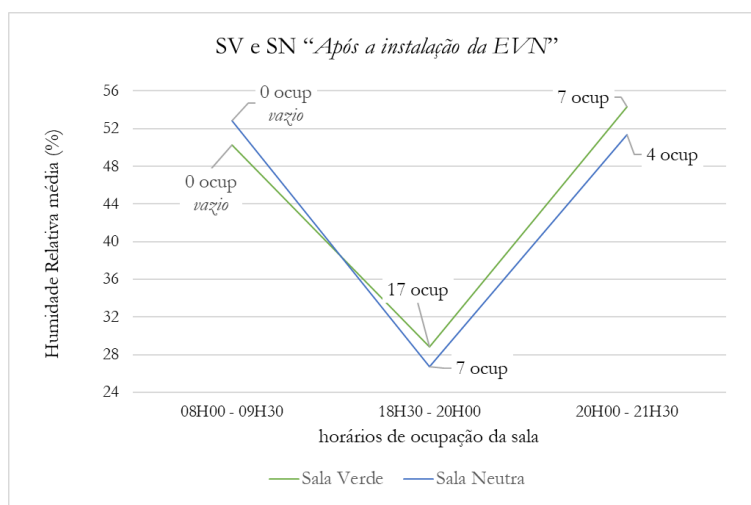


Figura 5.14 Humidade Relativa média, na SV e SN, “Após a instalação da EVN”

Tendo em conta o intervalo recomendado pelo Decreto-Lei n.º 243/86 de 20 de agosto (50 % – 70 %), pode verificar-se que os valores registados nas salas se encontram, na generalidade, abaixo dos valores recomendados o que, tal como referido anteriormente, poderá prejudicar a saúde dos ocupantes.

Os baixos valores de humidade registados estão relacionados com as temperaturas elevadas registadas durante as monitorizações que, tal como referido pela Health and Safety Executive (2022), são um dos fatores que mais influenciam a humidade.

O facto de os valores de humidade se encontrarem muito próximos nas duas salas, resultado também das condições meteorológicas exteriores, não permite observar um efeito positivo da EVN na regulação dos níveis de humidade na sala.

5.2. Avaliação do bem-estar dos alunos

Os resultados dos questionários aplicados aos alunos foram tratados pelo Departamento de Psicologia Social e das Organizações do ISCTE, através de uma análise de comparação de resultados médios entre as diferentes salas.

Na análise exploratória inicial foram comparados os resultados médios entre as respostas da Sala Verde (SV) e Sala Neutra (SN), para uma amostra n=12, para as seguintes escalas: *Indoor Climate Rating Scale*, *Environmental Assessment Scale*, *Subjective Well-being in class*, *General Anxiety Disorder*, *Positive Affect Negative Scale* e *Psychological capital*.

Indoor Climate Rating Scale

Nesta questão foi pedido aos alunos que identificassem, numa escala de 1 a 10, em que 1 e 10 representam condições extremas (*1-temperatura demasiado fria, 10-temperatura demasiado quente; 1-ar extremamente seco, 10-ar extremamente húmido; 1-sem pó, 10-extremamente poeirenta; 1-sem cheiro, 10-com cheiro; 1-sem ventilação adequada, 10-com ventilação adequada*), a sua perceção em relação a algumas condições do interior da sala, nomeadamente: *Temperatura ambiente, Humidade do ar, Pó no ar, Odor e Circulação de ar*. Os resultados da escala *Indoor Climate Rating* apresentam-se na Figura 5.15.

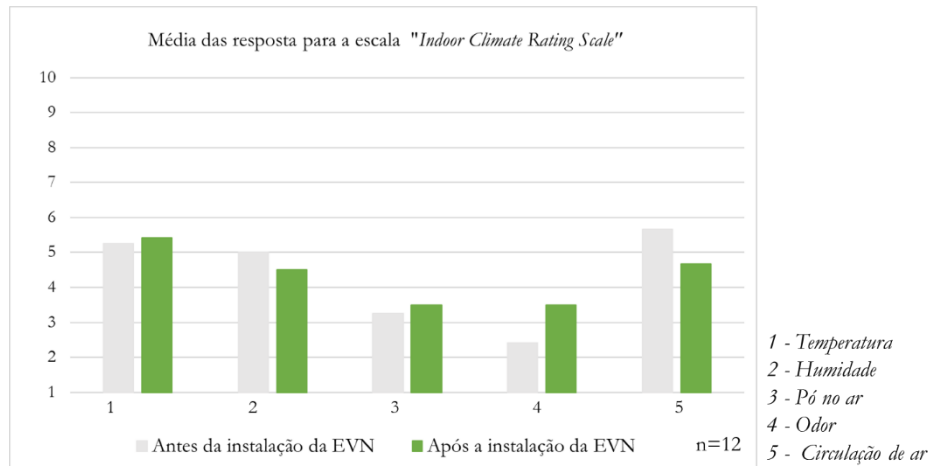


Figura 5.15 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “*Indoor Climate Rating Scale*”, “*Antes e após a instalação da EVN*”

A maioria dos fatores foi avaliada próximo do meio da escala (entre 4 e 6), ou seja, afastado das respostas extremas. Apenas o *Pó no ar* e o *Odor* foram avaliados mais próximo do extremo inferior, *sem pó* e *sem cheiro*, respetivamente. Em ambas as fases, “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*” a média das respostas foi bastante semelhante, com exceção dos fatores, *Humidade* e *Odor*, para os quais foram encontraram resultados estatisticamente relevantes.

Em relação à *Humidade*, os alunos descrevem o ar da sala como ligeiramente mais seco “*Antes da instalação da EVN*”. Por sua vez, e em relação ao *Odor*, os alunos descrevem a sala como apresentando menos odor “*Antes da instalação da EVN*”, embora no geral a média das respostas se encontre mais próxima da ausência de odor.

Comparando as respostas dos questionários com os resultados das monitorizações de QAI, é possível verificar que, em relação à temperatura e humidade relativa, a perceção dos alunos é consistente com as condições de temperatura e humidade da sala, antes e após a instalação da EVN, tendo sido registados valores mais altos de temperatura e valores mais baixos de humidade relativa, após a instalação da EVN.

A par destas evidências, os resultados obtidos para esta escala não permitem observar um efeito positivo da EVN no bem-estar dos alunos.

Environmental Assessment Scale

Nesta questão foi pedido aos alunos que descrevessem, através de 17 pares de adjetivos, e numa numa escala de 1 a 5, a sala onde se encontravam. Os resultados da escala *Environmental Assessment* apresentam-se na Figura 5.16.

A análise dos dados (Figura 5.16) identificou resultados estatisticamente relevantes para os pares: *Aborrecida – Interessante*, *Triste – Alegre*, *Ar pesado - Ar fresco*, *Lotada – Vazia*, *Monótona – Colorida*, *Confusa – Relaxante*, *Desagradável – Agradável*, *Barulhenta – Silenciosa*, *Pouco espaçosa – Espaçosa*, *Feia – Atrativa*, *Assustadora – Segura*, *Desconfortável – Confortável*, *Desarrumada – Arrumada*, *Pouco convidativa – Convidativa*, *Simple – Decorada*, *Vulgar – Elegante*. Todos estes pares, com exceção do par *Pouco espaçosa – Espaçosa*, foram avaliados de forma mais positiva “Após da instalação da EVN”, sendo o par *Simple – Decorada*, o que apresentou diferenças mais significativas entre as duas fases. Estes resultados parecem assim apontar um efeito positivo da EVN na perceção dos alunos em relação à sala, que passou a ser considerada mais *Interessante*, *Alegre*, *Colorida*, *Atrativa*, *Convidativa*, *Decorada* e *Elegante*.

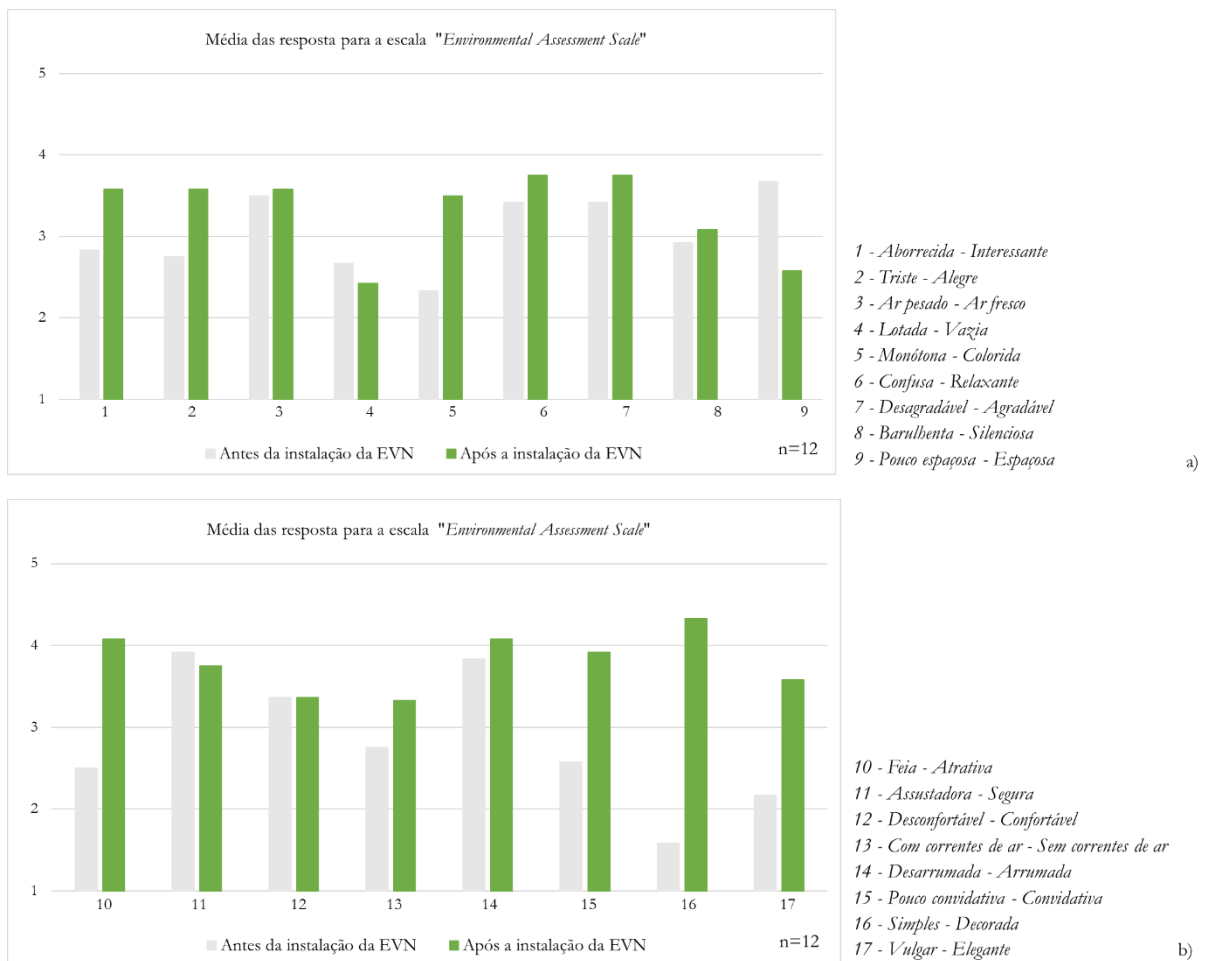


Figura 5.16 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “*Environmental Assessment Scale*”, “*Antes e após a instalação da EVN*”: a) para os primeiros 9 pares de adjetivos; b) para os restantes 8 pares de adjetivos

Estas observações são ainda consistentes com as de Lohr & Pearson-mims (2000), num estudo realizado numa sala com várias condições, entre as quais a presença e ausência de plantas, no qual observaram que, com a presença de plantas, a sala foi mais associada a características positivas como “*alegre*”, “*calma*” e “*atraente*”. As atitudes positivas em relação a salas com plantas foram ainda

demonstradas numa série de outros estudos, entre os quais os desenvolvidos por Laviana et al. (1983), Shoemaker et al. (1992), Larsen et al. (1998) e Fjeld (2000).

Subjective Well-being in class

O bem-estar subjetivo em sala de aula foi avaliado através de um conjunto de 19 questões, para as quais foi pedido aos alunos que, numa escala de 1 a 5, em que 1 é *discordo fortemente* e 5 é *concordo fortemente*, identificassem o seu acordo ou desacordo em relação a cada uma. Este conjunto de questões pretende avaliar o *Conforto e satisfação com a aprendizagem*, o *Stress* e o *Bem-estar social* dos alunos. Os resultados da escala *Subjective Well-being in class* apresentam-se na Figura 5.17.

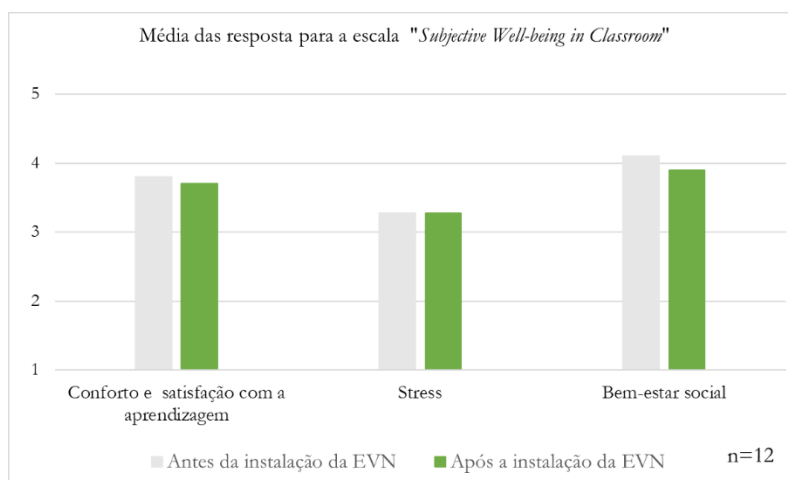


Figura 5.17 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “*Subjective Well-being in Classroom*”, “*Antes e após a instalação da EVN*”

A análise dos resultados não permite identificar efeitos positivos da EVN no bem-estar subjetivo dos alunos, no entanto, para esta escala não foram obtidos resultados com grande relevância estatística, encontrando-se as médias das respostas de cada uma das fases muito próximas.

Estes resultados embora pouco conclusivos, não são consistentes com os obtidos em estudos semelhantes. Fjeld (2000), num estudo desenvolvido numa escola com plantas tropicais, observou que os alunos de salas com plantas avaliam melhor o seu bem-estar, em comparação com os alunos de outras salas. Peterková et al. (2019), num estudo semelhante, verificaram que os estudantes conseguiram sentir o impacto positivo das plantas no seu bem-estar psicológico, e Daly et al. (2010), num estudo realizado em ambiente de escritório, observaram uma redução dos sentimentos associados ao stress e ansiedade.

Importa, contudo, referir que a segunda fase do estudo coincidiu com o final do semestre, período de avaliações (realização de testes e entrega de trabalhos), momentos que causam grande ansiedade e stress nos alunos, o que poderá ter grande influência nos resultados obtidos.

General Anxiety Disorder

Para a avaliação do transtorno de ansiedade geral foi pedido aos alunos que indicassem, através de uma escala de 0 a 3, em que 0 é nunca e 3 é em quase todos os dias, o número de vezes em que, nos últimos 14 dias, se sentiram afetados por um conjunto de problemas. Os resultados da escala *General Anxiety Disorder* apresentam-se na Figura 5.18.

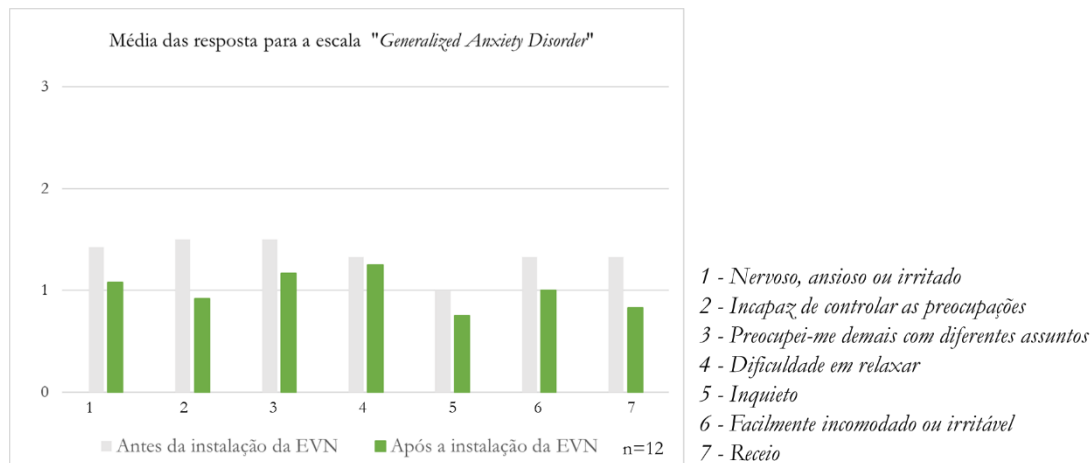


Figura 5.18 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “*General Anxiety Disorder*”, “*Antes e após a instalação da EVN*”

Embora para a maioria dos problemas não seja possível encontrar resultados com grande relevância estatística, a frequência com que os alunos se sentiram afetados pelos problemas foi menor “*Após a instalação da EVN*”. As diferenças mais expressivas entre as duas fases foram identificadas nos problemas *Incapaz de controlar as preocupações* e *Receio*.

De uma forma geral é possível verificar uma descida dos níveis de ansiedade “*Após a instalação da EVN*”, o que sugere um efeito positivo da EVN nos níveis de ansiedade dos alunos.

Estes resultados são consistentes com os obtidos numa série de estudos semelhantes, que sugerem existir uma relação entre a presença de plantas interiores e a redução dos níveis de ansiedade nos ocupantes (Daly et al., 2010; Han, 2009; Lianyu et al., 2022; F. Liu et al., 2022). Han (2009) sugere ainda que, maiores quantidades de plantas, com maior e melhor visibilidade pelos ocupantes, são capazes de produzir efeitos mais expressivos na redução da ansiedade.

Positive Affect Negative Affect Scale

Nesta escala foi pedido aos alunos que identificassem, numa escala de 1 a 5, em que 1 é *Nada ou muito ligeiramente* e 5 é *Extremamente*, os seus sentimentos acerca de um conjunto de emoções. Os resultados da escala *Positive Affect Negative Affect* apresentam-se na Figura 5.19.

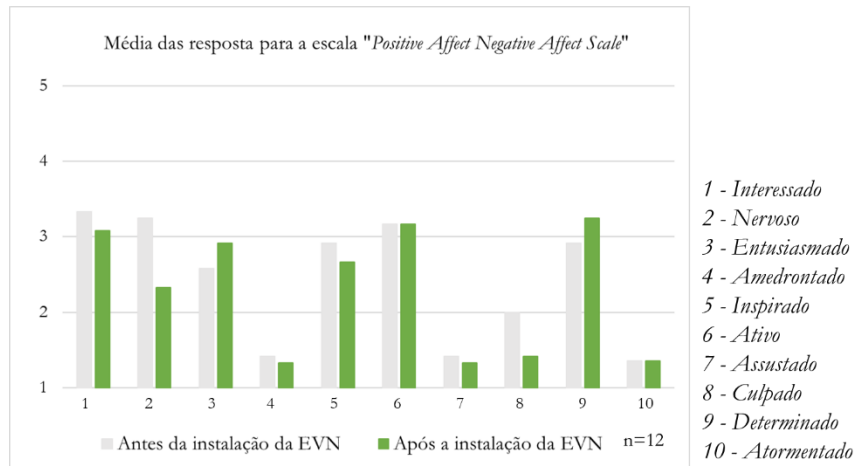


Figura 5.19 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “Positive Affect Negative Affect Scale”, “Antes e após a instalação da EVN”

Apesar de, para a maioria das emoções, não ter sido possível encontrar resultados com grande relevância estatística, de um modo geral as emoções foram avaliadas de forma mais positiva “Após a instalação da EVN”, tendo os alunos se sentido menos *Nervosos*, *Assustados* e *Culpados*, e mais *Entusiasmados* e *Determinados*, sendo possível verificar uma descida da média de sentimentos negativos “Após a instalação da EVN”.

Estes resultados são consistentes com os observados por Fjeld (2000), num estudo em que observou que os alunos das salas com plantas avaliaram de forma mais positiva a sala, do que os alunos de salas sem plantas, e por Doxey et al. (2009), que sugerem que os contactos passivos com a natureza podem melhorar os níveis de satisfação e humor dos estudantes. Como referido anteriormente, estas são também as conclusões de uma série de outros estudos, que associam a presença de plantas a sentimentos positivos, como os desenvolvidos por Laviana et al. (1983), Shoemaker et al. (1992), Larsen et al. (1998), Fjeld (2000) e Lohr & Pearson-mims (2000).

Psychological capital

Nesta escala foi pedido aos alunos que identificassem, numa escala de 1 a 4, em que 1 é *Discordo Totalmente* e 4 é *Concordo totalmente*, a sua opinião acerca de 16 afirmações. Os resultados da escala *Psychological capital* apresentam-se na Figura 5.20.

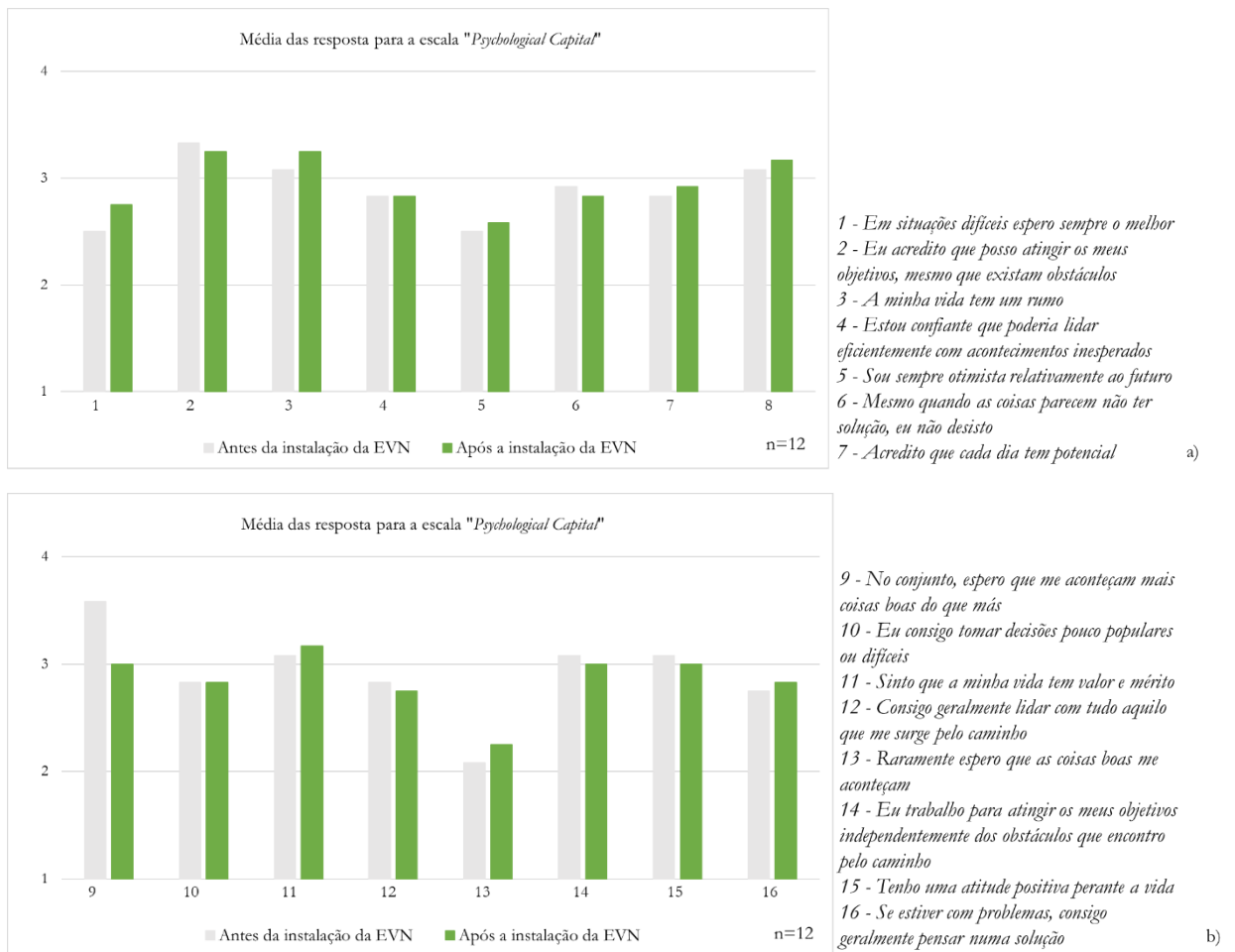


Figura 5.20 Média das respostas dos alunos da SV para a escala “Psychological capital”, “Antes e após a instalação da EVN”: a) para as primeiras 7 afirmações; b) para as restantes 8 afirmações

A maioria das afirmações foi avaliada entre os níveis 2 e 3 (*Discordo* e *Concordo*), ou seja, afastado das respostas extremas. Em ambas as fases, “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*” a média das respostas foi bastante semelhante, destacando-se apenas a questão 9 (*No conjunto espero que me aconteçam mais coisas boas do que más*), como a que apresentou resultados estatisticamente mais relevantes, o que pode sugerir um efeito psicológico positivo da EVN nos alunos.

Embora os resultados possam sugerir um efeito positivo nas condições psicológica dos alunos, não permitem retirar conclusões consistentes acerca do impacte da EVN no seu bem-estar.

Apesar dos resultados menos expressivos, que poderão estar relacionados com o reduzido tempo de contacto dos alunos com a EVN, e com a fraca resposta aos questionários, é notório o benefício das EVN no bem-estar dos alunos, e na sua opinião em relação à sala, o que poderá ter um impacto bastante significativo no seu desempenho. Torna-se assim evidente a necessidade de explorar este tipo de soluções em ambientes universitários, de modo a proporcionar aos alunos ambientes confortáveis e que potenciem o seu desempenho.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Conclusões

No presente estudo procurou-se verificar o impacto da instalação de uma estrutura verde natural (EVN) na qualidade do ar interior (QAI) de uma sala de aula do Edifício G do Campus do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), através da monitorização de diversos poluentes interiores e da análise do bem-estar dos alunos.

O estudo foi desenvolvido em duas fases, “*Antes da instalação da EVN*” e “*Após a instalação da EVN*”, numa sala verde (SV) (onde se instalou a EVN) e numa sala neutra (SN), e em cada uma das salas foram realizadas medições de diversos parâmetros físico-químicos (compostos orgânicos voláteis totais (COV_T), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), partículas em suspensão de diâmetro inferior a 10 µm (PM₁₀), partículas em suspensão de diâmetro inferior a 2,5 µm (PM_{2,5}), temperatura (T) e humidade relativa (HR)), e aplicados questionários aos alunos.

Os resultados das medições pontuais de QAI realizadas na primeira fase do estudo permitiram verificar a existência de incumprimento dos limiares de proteção definidos na Portaria n.º 138-G-2021 em ambas as salas, SV e SN, nos parâmetros COV_T, CO₂ e PM₁₀. O maior número de incumprimentos foi registado na SN e para o parâmetro PM₁₀, no entanto, foi na SV que se registaram concentrações mais elevadas de poluentes, nomeadamente nos parâmetros COV_T, CO₂, PM₁₀, PM_{2,5}. Apesar dos incumprimentos identificados, a maioria das medições encontrava-se abaixo dos respetivos limiares de proteção, podendo considerar-se a qualidade do ar interior das salas, de um modo geral, como aceitável.

Na segunda fase do estudo, continuou a observar-se a existência de incumprimento dos limiares de proteção e, apesar de em menor número, os incumprimentos foram verificados nos mesmos parâmetros onde se verificaram os incumprimentos na primeira fase: COV_T, CO₂, e PM₁₀, embora em aulas distintas.

Para verificar o impacto da instalação da EVN na sala SV fez-se a comparação das médias globais das medições de QAI em cada uma das fases e, apesar de não ter sido possível assegurar as mesmas condições de amostragem nas duas fases do estudo, verificou-se um decréscimo das concentrações de COV_T, CO₂ e PM_{2,5} na SV, “*Após a instalação da EVN*”, o que parece indicar uma influência positiva da EVN na qualidade do ar interior da sala.

Os resultados dos questionários aplicados aos alunos da SV, apesar da fraca relevância estatística, permitiram verificar um efeito positivo da EVN na percepção dos alunos em relação à sala, nos níveis de ansiedade e nos sentimentos negativos. Após a instalação da EVN a sala passou a ser avaliada de forma mais positiva, sendo considerada mais *Interessante, Alegre, Colorida, Atrativa, Convidativa, Decorada e Elegante*, os níveis de ansiedade dos alunos diminuíram, e os seus sentimentos passaram a ser menos negativos.

Apesar do presente estudo sugerir uma influência positiva da EVN, quer na qualidade do ar interior da sala, como no bem-estar geral dos alunos, torna-se necessário referir um conjunto de dificuldades e limitações que poderão ter tido uma influência significativa nos resultados obtidos, e que deverão ser alvo de atenção, para que se possam retirar conclusões mais consistentes, nomeadamente:

- Não foram realizadas medições de exterior, por forma a identificar possíveis fontes de contaminação exteriores;
- O tempo de cada monitorização foi reduzido, não permitindo observar de forma consistente a evolução da concentração dos poluentes ao longo do tempo;
- O tempo decorrido entre as duas fases do estudo foi curto, não permitindo um contacto mais alargado dos alunos com a EVN;
- O planeamento inicialmente previsto para as medições de QAI não foi cumprido na íntegra, o que não permitiu assegurar condições de amostragem semelhantes entre as duas fases;
- Apenas foi estudada uma estação do ano, não sendo possível avaliar a influência de outras condições climáticas e padrões de ventilação das salas;
- Não foi possível garantir a abertura e fecho das portas e janelas das salas, devido às altas temperaturas exteriores, atípicas para o mês de maio;
- O número de respostas aos questionários foi reduzido;
- As plantas não se encontravam plenamente desenvolvidas (menor volume de folhagem), o que pode influenciar a filtração de poluentes e o impacto no bem-estar dos alunos.

Apesar das diversas limitações do estudo, acredita-se que este trabalho constitui um contributo de grande relevância para uma primeira abordagem ao estudo da qualidade do ar interior em contexto universitário, e que ajudará a destacar a importância das EVN nas salas de aula, quer para a melhoria da QAI, como para o bem-estar dos seus ocupantes, e a considerá-las como uma estratégia económica e ambientalmente sustentável, para a melhoria da qualidade do ar interior.

Considerando a importância da qualidade do ar interior para a saúde física e mental dos ocupantes de espaços interiores, e em particular dos alunos que utilizam os espaços escolares, espera-se ainda que este estudo possa contribuir para a integração de estruturas verdes naturais nas escolas, como

uma solução económica e ambientalmente sustentável para a resolução dos problemas relacionadas com a qualidade do ar interior.

O presente estudo deu ainda resultado ao artigo “*Indoor air quality for sustainability, occupational health and classroom environments through the application of earth plaster*”, submetido para a conferência HERITAGE 2022 - *International Conference on Vernacular Heritage: Culture, People and Sustainability*, 15-17 of September 2022 Valencia, Spain, e que se encontra disponível no Anexo C.

6.2. Trabalhos futuros

Atendendo à importância da monitorização da qualidade do ar nos edifícios, e em particular nos edifícios das instituições de ensino superior, e tendo em conta os benefícios que as estruturas verdes naturais podem trazer para os ambientes interiores, considera-se relevante que sejam desenvolvidos novos estudos sobre este tema, sendo apresentadas as seguintes ideias para trabalhos futuros:

- Prolongar o período de monitorização em cada uma das salas, de modo a perceber a evolução dos poluentes ao longo do dia, e de cada aula, e a permitir um maior contacto dos ocupantes com a sala verde;
- Aumentar o número de parâmetros medidos, incluindo a análise de parâmetros microbiológicos (bactérias e fungos) e químicos (formaldeído, compostos orgânicos voláteis detalhados) de modo a que se possa fazer uma caracterização da qualidade do ar interior mais detalhada;
- Replicar o estudo para a estação fria, de modo a perceber a evolução da concentração dos vários parâmetros em diferentes condições climáticas e de ventilação dos espaços;
- Replicar o estudo numa fase de crescimento mais avançado das plantas, ou com uma parede verde, de modo a potenciar os benefícios das plantas;
- Estender o estudo a outras salas e espaços do ISEL, como por exemplo os espaços e salas de estudo;
- Estender o estudo a outros edifícios universitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, C. (2010). Capítulo 3: Qualidade do ar interior. In *O Ambiente Interior e a Saúde dos Ocupantes de Edifícios de Habitação* (pp. 23–68). <http://hdl.handle.net/10400.6/3579>
- Adefeso, I., Sonibare, J., & Isa, Y. (2020). Further evidence on environmental impacts of carbon monoxide from portable power generator on indoor air quality. *Cogent Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1809771>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2021, September 3). *Ar e ruído: poluição por partículas inaláveis*. <https://rea.apambiente.pt/content/poluição-por-partículas-inaláveis>
- Almeida, C., Teotónio, I., Silva, C. M., Cruz, C. O., Almeida, C., Teotónio, I., Silva, C. M., & Oliveira, C. (2021). Socioeconomic feasibility of green roofs and walls in public buildings : The case study of primary schools in Portugal. *The Engineering Economist*, 66(1), 27–50. <https://doi.org/10.1080/0013791X.2020.1748255>
- Anand, S. S., Philip, B. K., & Mehendale, H. M. (2014). Volatile Organic Compounds. In P. Wexler (Ed.), *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)* (pp. 2014–2016). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00358-4>
- Andersson, K., Fagerlund, I., & Nygren, M. (1999). The association between SBS symptoms and the physical and psychosocial environment of school personnel. *Proceedings Indoor Air*, 4, 360–365
- Apte, M., & Daisey, W. (2000). Associations Between Indoor CO2 Concentrations and Sick Building Syndrome Symptoms in U. S. Office Buildings: An Analysis of the 1994 – 1996 BASE Study Data. *Indoor Air*, 10, 246–257
- ASHRAE. (2016). *What is the allowable level of carbon monoxide in an occupied space*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE Technical FAQ - 34. <https://www.ashrae.org/File Library/Technical Resources/Technical FAQs/TC-04.03-FAQ-34.pdf>
- Aydogan, A., & Cerone, R. (2021). Review of the effects of plants on indoor environments. *Indoor and Built Environment*, 30(4), 442–460. <https://doi.org/10.1177/1420326X19900213>
- Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., & Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121(August), 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
- Becerra, J. A., Lizana, J., Gil, M., Barrios-padura, A., Blondeau, P., & Chacartegui, R. (2020). Identification of potential indoor air pollutants in schools. *Journal of Cleaner Production*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118420>

- Berg, A. E., Wesseliuss, J. E., Maas, J., & Tanja-Dijkstra, K. (2017). Green Walls for a Restorative Classroom Environment: A Controlled Evaluation Study. *Environment and Behavior*, 49(7), 791–813. <https://doi.org/10.1177/0013916516667976>
- Bringslimark, T., Hartig, T., & Patil, G. G. (2009). The psychological benefits of indoor plants: A critical review of the experimental literature. *Journal of Environmental Psychology*, 29(4), 422–433. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.05.001>
- Chauhan, S., Manisha, Bhargava, B., Kandpal, K. C., & Kumar, A. (2022). Analyzing Preferred Indoor Ornamental Potted Plants for Their Air Pollution Tolerance Ability. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(3), 2019–2027. <https://doi.org/10.15244/pjoes/140291>
- Chithra, & Nagendra. (2018). A review of scientific evidence on indoor air of school building: pollutants, sources, health effects and management. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(2), 87–108
- Clements-Croome, D., & Kaluarachchi, Y. (1997). An assessment of the influence of the indoor environment on the productivity of occupants in offices. *Construction and Operation of Healthy Buildings*, 81
- Coentro, S. (2015). *Qualidade do Ar Interior em habitações: Fontes emissoras de poluentes* [Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Repositório Universidade Nova de Lisboa]. https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro_2015.pdf
- Corgnati, S., Filippi, M., & Viazzo, S. (2007). Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Building and Environment*, 42, 951–959. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.10.027>
- Costa, C. M. P. (2011). *Estudo da qualidade do ar interior num edifício departamental da UC* [Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra]
- CPSC, U. (2022). *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality Indoor Air Quality in Your Home*. <https://www.cpsc.gov/Safety-Education/Safety-Guides/Home/The-Inside-Story-A-Guide-to-Indoor-Air-Quality>
- Daly, J., Burchett, M., Torpy, F., Daly, J., Albany, P. O. B., & Mobile, C. Q. (2010). *Plants in the classroom can improve student performance* (pp. 1–9). <https://www.wolvertonenvironmental.com/Plants-Classroom.pdf>
- Decreto-Lei n.º 101-D/2020 da Presidência do Conselho de Ministros, Diário da República, 2ª série, n.º 237 7 (2020). <https://dre.pt/application/file/a/150570803>
- Decreto-Lei n.º 102/2012 do Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Diário da República: 1ª série, n.º 186 4177 (2010). <https://dre.pt/pesquisa/-/search/342123/details/normal?l=1>
- Decreto-Lei n.º 118/2013 do Ministério da Economia e do Emprego, 159 Diário da República: 1ª série, n.º 159 4988 (2013)
- Decreto-Lei n.º 243/86 do Ministério do Trabalho e da Segurança Social, Diário da República: 1ª série, n.º 190 (1986). file:///C:/Users/bpu060631/Documents/TM/TFM/Bibliografia_TM/DL_243-86.pdf
- Decreto-Lei n.º 79/2006 do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Diário da República: 1ª série A, n.º 67 (2006)

- Dela Cruz, M., Christensen, J. H., Thomsen, J. D., & Müller, R. (2014). Can ornamental potted plants remove volatile organic compounds from indoor air? — a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(24), 13909–13928. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3240-x>
- Di Giulio, M., Grande, R., Di Campli, E., Di Bartolomeo, S., & Cellini, L. (2010). Indoor air quality in university environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170(1–4), 509–517. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1252-7>
- Diener, E., Horwitz, J., & Emmons, R. A. (1985). Happiness of the very wealthy. *Social Indicators Research*, 16(3), 263–274. <https://eddiener.com/articles/1060>
- Doxey, J. S., Waliczek, T. M., Marcos, S., & Zajicek, J. M. (2009). The Impact of Interior Plants in University Classrooms on Student Course Performance and on Student Perceptions of the Course and Instructor. *HortScience*, 44(2), 384–391. [file:///C:/Users/bpu060631/Downloads/\[23279834 - HortScience\] The Impact of Interior Plants in University Classrooms on Student Course Performance and on Student Perceptions of the Course and Instructor.pdf](file:///C:/Users/bpu060631/Downloads/[23279834 - HortScience] The Impact of Interior Plants in University Classrooms on Student Course Performance and on Student Perceptions of the Course and Instructor.pdf)
- Dutton, S., & Shao, L. (2010). Window opening behaviour in a naturally ventilated school. *Proceedings of the 4th National Conference of IBPSA- ...*, Dutton 2009, 260–268. <http://www.ibpsa.us/pub/simbuild2010/papers/SB10-DOC-TS05B-02-Dutton.pdf>
- Environmental Protection Agency, U. S. (1991). Indoor Air Facts No. 4 Sick Building Syndrome. *EPA - Air & Radiation (6609J), Research and Development (MD-56)*, 1–4. https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf
- Environmental Protection Agency, U. S. (2003). Indoor air quality & student performance. *Indoor Environmental Division Office of Radiation and Indoor Air*, 1–8
- Environmental Protection Agency, U. S. (2021). *Technical Overview of Volatile Organic Compounds | US EPA*. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#8%0Ahttps://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>
- Environmental Protection Agency, U. S. (2022). *Particulate Matter (PM) Basics*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Éva, V., Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., & Szabó, S. (2020). Air pollution induced vegetation stress – The Air Pollution Tolerance Index as a quick tool for city health evaluation. *Ecological Indicators*, 113(May 2019), 106234. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106234>
- Ferreira, A., & Cardoso, S. (2013). Exploratory study of air quality in elementary schools, Coimbra, Portugal. *Revista de Saude Publica*, 47(6), 1059–1068. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004810>
- Filho, N. (2021). Air pollution and indoor settings. *World Allergy Organization Journal*, 14(1), 100499. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100499>
- Fjeld, T. (2000). The Effect of Interior Planting on Workers and School Children. *International Human Issues in Horticulture*, 10(March)
- Galinha, I., & Pais-Ribeiro, J. (2005). Contribuição para o estudo da versão portuguesa da Positive and Negative Affect Schedule (PANAS): II—Estudo psicométrico. *Análise Psicológica*, 2(23), 219–227. <https://doi.org/https://doi.org/10.14417/ap.84>

- GARDENIA. (2022). *Flowers and Plants*. <https://www.gardenia.net/search>
- Gennaro, G., Dambruoso, P. R., Loiotile, A. D., Di Gilio, A., Giungato, P., Tutino, M., Marzocca, A., Mazzone, A., Palmisani, J., & Porcelli, F. (2014). Indoor air quality in schools. *Environmental Chemistry Letters*, 12(4), 467–482. <https://doi.org/10.1007/s10311-014-0470-6>
- Ghaffarianhoseini, A., Alwaer, H., Omrany, H., Alalouch, C., Clements-croome, D., Ghaffarianhoseini, A., & Alwaer, H. (2018). Sick building syndrome : are we doing enough ? ABSTRACT. *Architectural Science Review*, 61(3), 99–121. <https://doi.org/10.1080/00038628.2018.1461060>
- GINJA, J., Borrego, C., Coutinho, M., Nunes, C., & Morais-Almeida, M. (2012). Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas. *Congress of Innovation on Sustainable Construction*, 1–10
- GrayWolf. (2019). *A dvanced S ense*. Advanced Sence BE. <https://graywolfsensing.com/product-literature/>
- Gunawardena, K., & Steemers, K. (2019). Living walls in indoor environments. *Building and Environment*, 148, 478–487. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.014>
- Han, K. (2009). Influence of Limitedly Visible Leafy Indoor Plants on the Psychology , Behavior , and Health of Students at a Junior High School in Taiwan. *Environment and Behavior*, 41(35), 658–692. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0013916508314476>
- Health and Safety Executive. (2022). *Thermal comfort: the six basic factors*. HSE. <https://www.hse.gov.uk/temperature/thermal/factors.htm>
- Hoskins, J. A. (2003). Indoor and Built Health Effects due to Indoor Air Pollution. *Indoor and Built Environment*, 12, 427–433. <https://doi.org/10.1177/1420326X03037109>
- Husti, A., Cantor, M., Stefan, R., Miclean, M., Roman, M., Neacsu, I., Contiu, I., Magyari, K., & Baia, M. (2016). Assessing the indoor pollutants effect on ornamental plants leaves by FT-IR spectroscopy. *Acta Physica Polonica A*, 129(1), 142–149. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.129.142>
- Ibrahim, I. Z., Chong, W. T., Yusoff, S., Wang, C. T., Xiang, X., & Muzammil, W. K. (2021). Evaluation of common indoor air pollutant reduction by a botanical indoor air biofilter system. *Indoor and Built Environment*, 30(1), 7–21. <https://doi.org/10.1177/1420326X19882080>
- Jones, A. P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment*, 33(May).
- Kellert, S., & Calabrese, E. (2015). *The Practice of Biophilic Design*. https://www.researchgate.net/publication/321959928_The_Practice_of_Biophilic_Design
- Kinoshita, H., Türkan, H., Vucinic, S., & Naqvi, S. (2020). Carbon monoxide poisoning. *Toxicology Reports*, 7(January), 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2020.01.005>
- Larsen, L., Adams, J., Deal, B., Kweon, B., & Tyler, E. (1998). Plants in the Workplace: The Effects of Plant Density on Productivity, Attitudes, and Perceptions. *Environment and Behavior*, 30(3), 261–281. <https://doi.org/10.1177/001391659803000301>
- Laviana, J. E., Mattson, R. H., & Rohles, F. H. (1983). Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Plants as Enhancers of the Indoor Environment. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 27(8), 738–741. <https://doi.org/10.1177/154193128302700820>

- Leech, J. A., Nelson, W. C., Burnett, R. T., Aaron, S., & Raizenne, M. E. (2002). It's about time: a comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 12(6), 427–432. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500244>
- Lianyu, Y., Fudan, L., & Xi, M. (2022). Questionnaires assessing the anxiety alleviation benefits of indoor plants for self-isolated population during COVID-19. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 17(March), 300–307. <https://academic.oup.com/ijlct/article/doi/10.1093/ijlct/ctab102/6517082>
- Lighthouse. (2021). Handheld Particle Counters 2016/3016/5016. <https://www.golighthouse.com/en/airborne-particle-counters/handheld-3016-iaq>
- Lindemann-matthies, P., Benkowitz, D., & Hellinger, F. (2021). Landscape and Urban Planning Associations between the naturalness of window and interior classroom views, subjective well-being of primary school children and their performance in an attention and concentration test. *Landscape and Urban Planning*, 214(104146). <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104146>
- Liu, C., Zhang, Y., Sun, L., Gao, W., Jing, X., & Ye, W. (2021). Case Studies in Thermal Engineering Influence of indoor air temperature and relative humidity on learning performance of undergraduates. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28(September), 101458. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101458>
- Liu, F., Yan, L., Meng, X., & Zhang, C. (2022). A review on indoor green plants employed to improve indoor environment. *Journal of Building Engineering*, 53(April), 104542. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104542>
- Lohr, V. I., & Pearson-mims, C. H. (2000). Physical discomfort may be reduced in the presence of interior plants. *HortTechnology*, 10(March), 53–58. [file:///C:/Users/bpu060631/Downloads/\[19437714 - HortTechnology\] Physical Discomfort May Be Reduced in the Presence of Interior Plants.pdf](file:///C:/Users/bpu060631/Downloads/[19437714 - HortTechnology] Physical Discomfort May Be Reduced in the Presence of Interior Plants.pdf)
- Luthans, F., & Youssef-morgan, C. M. (2017). Psychological capital: An evidence-based positive approach. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 4, 339–366. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032516-113324>
- Mael, F., & Ashforth, B. E. (1992). Alumni and their alma mater: A partial test of the reformulated model of organizational identification. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 13(2), 103–123
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>
- Matos, J., Brantes, J., & Cunha, A. M. (2010). *Qualidade do ar em espaços interiores: um guia técnico 2010*.
- McCullough, M., Martin, M., & Sajady, M. (2018). Implementing green walls in schools. *Frontiers in Psychology*, 9(JUN), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00619>
- Meyer, C. (2021). *Overview of TVOC and Indoor Air Quality Gases of Interest for Indoor Air Quality Definition of TVOC TVOC as an Indicator for Indoor Air Quality*.
- New South Wales Government. (2021). *Particulate matter (PM10 and PM2.5)*. <https://www.health.nsw.gov.au/environment/air/Pages/particulate-matter.aspx>
- Norbäck, D. (1995). Subjective indoor air quality in schools—the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wall materials and volatile organic compounds (VOC). *Indoor Air*, 5(4), 237–246.

- OCDE. (2014). *Education at a Glance 2014 : OECD Indicators Indicator D1 How much time do students spend in the classroom ? Ccc*. <http://dx.doi.org/10.1787/068453733667>
- Organização Mundial da Saúde. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization Regional Office for Europe
- Pegas, Alves, Nunes, Bate-Epey, Evtyugina, & Pio. (2012a). Could houseplants improve indoor air quality in schools? *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 75(22–23), 1371–1380. <https://doi.org/10.1080/15287394.2012.721169>
- Pegas, Alves, Nunes, Bate-Epey, Evtyugina, & Pio. (2012b). Could houseplants improve indoor air quality in schools? In *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues* (Vol. 75, Issues 22–23). <https://doi.org/10.1080/15287394.2012.721169>
- Pegas, P., Evtygina, M., Alves, C., Nunes, T., Cerqueira, M., Franchi, M., & Pio, C. (2010). Outdoor/indoor air quality in primary schools in lisbon: A preliminary study. *Química Nova*, 33(5), 1145–1149. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000500027>
- Peterková, J., Michalčíková, M., Novák, V., Slávik, R., Zach, J., Korjenic, A., Hodná, J., & Raich, B. (2019). The influence of green walls on interior climate conditions and human health. *MATEC Web of Conferences*, 282(2019), 02041. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928202041>
- Pettit, T., Irga, P. J., & Torpy, F. R. (2019). The in situ pilot-scale phytoremediation of airborne VOCs and particulate matter with an active green wall. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 12, 33–44
- Pichlhöfer, A., Sesto, E., Hollands, J., & Korjenic, A. (2021). Health-related benefits of different indoor plant species in a school setting. *Sustainability (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/su13179566>
- Portaria n.º 138-G/2021 do Secretário de Estado Adjunto e da Saúde e do Secretário de Estado Adjunto e da Energia, Diário da República: 1.ª série, n.º 126 (2021). <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/138-g-2021-166296490>
- Portaria n.º 353-A/2013 dos Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, Diário da República: 1.ª série, n.º 235 (2013). <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/353-a-2013-331868>
- Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazzo, S., Colao, A., & Miani, A. (2020). Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). *Health Promotion Perspectives*, 10(3), 169–174. <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>
- Riley, B. (2017). The state of the art of living walls : Lessons learned. *Building and Environment*, 114, 219–232. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.016>
- Rodrigues, F., & Feliciano, M. (2013). Avaliação de CO2 em salas de aula sem ventilação. 10ª Conferência Nacional Do Ambiente. XII Congresso Nacional de Engenharia Do Ambiente, Universidade de Aveiro. [file:///C:/Users/bpu060631/Documents/TM/TFM/Bibliografia_TM/Avaliação CO2 em salas de aula_2011.pdf](file:///C:/Users/bpu060631/Documents/TM/TFM/Bibliografia_TM/Avaliação%20CO2%20em%20salas%20de%20aula_2011.pdf)
- Rohles, F. H., Woods, J. E., & Morey, P. R. (1989). Indoor Environment Acceptability: The Development of a Rating Scale. *ASHRAE Transactions*, 95(1), 23–27
- Rostron, J. (2008). Sick building syndrome: A review of causes, consequences and remedies. *Journal of Retail & Leisure Property*, 7(4), 291–303. <https://doi.org/10.1057/rlp.2008.20>

- Sachithra, V., Sanchez-sanchez, C., Sachitra, V., & Bandara, U. (2017). Measuring the academic self-efficacy of undergraduates: The role of gender and academic year experience. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 11(11), 2320–2325
- Safar, A. N., Yassin, M. F., & Hamoda, M. F. (2019). Indoor and outdoor air concentrations of volatile organic compounds in schools within different urban areas. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(6), 2831–2838. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1869-6>
- Santos, A., & Novo, R. (2020). Mental Health Inventory : Sensitivity and Specificity of the Portuguese Version of the MHI-38 and MHI-5. *Psychological Reports*, 123(4), 1452–1469. <https://doi.org/10.1177/0033294119850490>
- Santos, J. (2010). *Avaliação da qualidade do ar interior em jardins de infância* [Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Repositório da Universidade de Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58949/1/000144993.pdf>
- Schiavon, M., Adami, L., Magaril, E., & Ragazzi, M. (2019). Indoor CO₂ : potential criticalities and solutions. *MATEC Web of Conferences*, 290(12016), 1–7
- Schibuola, L., Scarpa, M., & Tambani, C. (2016). Natural Ventilation Level Assessment in a School Building by CO₂ Concentration Measures. *Energy Procedia*, 101(September), 257–264. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.033>
- Settimo, G., Indinnimeo, L., Inglessis, M., Felice, M. De, Morlino, R., Coste, A., Fratianni, A., & Avino, P. (2020). Indoor Air Quality Levels in Schools : Role of Student Activities and No Activities. *International Journal of Environmental Health Research and Public Health*, 17(6695)
- Shao, Y., Li, J., Zhou, Z., & Zhang, F. (2021). The Impact of Indoor Living Wall System on Air Quality : A Comparative Monitoring Test in Building Corridors. *Sustainability*, 13, 2–21
- Shibata, S., & Suzuki, N. (2001). Effects of indoor foliage plants on subjects ' recovery from mental. *North American Journal of Psychology*, 3, 385–396
- Shibata, S., & Suzuli, N. (2004). Effects of an indoor plant on creative task performance and mood. *Scandinavian Journal of Psychology*, 45, 373–381
- Shoemaker, C. A., Randall, K., Relf, P. D., & Geller, E. S. (1992). Relationships between plants, behavior, and attitudes in an office environment. *Hort Technology*, 2(June), 205–206. [file:///C:/Users/bpu060631/Downloads/\[19437714 - HortTechnology\] Relationships between Plants, Behavior, and Attitudes in an Office Environment.pdf](file:///C:/Users/bpu060631/Downloads/[19437714 - HortTechnology] Relationships between Plants, Behavior, and Attitudes in an Office Environment.pdf)
- Silva, M. (2021). Ventilação e Qualidade do Ar Interior. *Guia FNRE, March*. https://www.researchgate.net/publication/349929717_Ventilacao_e_Qualidade_do_Ar_Interior
- Sousa, J. (2020). À beira de uma explosão mental - o burnout. *Newsletter Da Faculdade de Medicina Da Universidade de Lisboa*, 97
- Thatcher, T. L., & Layton, D. W. (1995). Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence. *Atmospheric Environment*, 29(13), 1487–1497
- Treesubstorn, C., & Thiravetyan, P. (2018). Botanical biofilter for indoor toluene removal and reduction of carbon dioxide emission under low light intensity by using mixed C3 and CAM plants. *Journal of Cleaner Production*, 194, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.141>

- Tsantaki, E., Smyrnakis, E., Constantinidis, T. C., & Benos, A. (2022). Indoor air quality and sick building syndrome in a university setting: a case study in Greece. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(3), 595–615. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1789567>
- Tudiwer, D., & Korjenic, A. (2017). The effect of an indoor living wall system on humidity, mould spores and CO₂-concentration. *Energy & Buildings*, 146, 73–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.048>
- Turhan, C., & Akkurt, G. G. (2018). Assessment of thermal comfort preferences in mediterranean climate. *Thermal Science*, 22(5), 2177–2187
- US EPA. (2021). *Reference guide for indoor air quality in schools - creating healthy indoor air quality in schools*. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/iaq-schools/reference-guide-indoor-air-quality-schools#IAQRG_AppendixJ
- Virtudes, A., & Manso, M. (2016). Applications of Green Walls in Urban Design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44, 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/3/032016>
- Wargocki, P. (2007). Improving indoor air quality improves the performance of office work and schoolwork. *IAQVEC 2007 Proceedings - 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings: Sustainable Built Environment*, 2, 647–654
- Whitmarsh, L. E., Haggard, P., & Thomas, M. (2018). Waste Reduction Behaviors at Home, at Work, and on Holiday: What Influences Behavioral Consistency Across Contexts? *Frontiers in Psychology*, 9, 2247. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02447>
- Williams, N. (2014). The GAD-7 questionnaire. *Occupational Medicine*, 64(3), 224–224. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqt161>
- Wolverton, B., Johnson, A., & Bounds, K. (1989). *Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. Final report, NASA*. Stennis Space Centre, MS

ANEXOS

ANEXO A

Questionário desenvolvidos pelo Departamento de Psicologia Social e das Organizações do ISCTE
no âmbito dos projetos GreenAir/RESpira.

O estudo **GreenAir/RESPIRA**, decorre no **ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa** (adiante designado ISEL), tem por objetivo avaliar o ambiente físico das salas de aula e as necessidades de saúde física e mental dos estudantes do ISEL ao longo do tempo.

A sua participação consiste no preenchimento de um questionário online, com uma duração aproximada de 15 minutos, no qual pedimos que responda a algumas perguntas sobre o seu estado de saúde, bem como a algumas perguntas sobre a sala onde habitualmente costuma assistir às aulas.

O estudo é realizado sob coordenação da Prof.ª Alexandra Rodrigues (ISEL)(alex.rodrigues@dem.isel.ipl.pt) e Prof.ª Sibila Marques (Iscte-Iul)(sibila.marques@iscte-iul.pt), que poderá contactar caso deseje colocar alguma dúvida ou partilhar algum comentário.

A sua participação voluntária é muito importante para o aumento do conhecimento científico nesta área. Não existem riscos significativos expectáveis associados à participação neste estudo. As suas respostas vão contribuir para o aumento do conhecimento sobre a importância do espaço físico em contexto de sala de aula, bem como da saúde dos jovens universitários, auxiliando assim à criação de programas de promoção da saúde dos estudantes no seio da universidade.

A participação neste estudo é estritamente **voluntária**: pode escolher participar ou não participar. Se escolher participar, pode interromper a participação em qualquer momento sem ter de prestar qualquer justificação. Para além de voluntária, a participação é também **anónima** e **confidencial**. Os dados recolhidos destinam-se apenas a tratamento estatístico e publicação científica. Nenhuma resposta será analisada ou reportada individualmente. Em nenhum momento do estudo precisa de se identificar.

Face a estas informações, por favor indique se aceita participar neste estudo e clique no botão do canto inferior direito para continuar na página seguinte. O preenchimento do questionário presume que compreendeu e que aceita as condições do presente estudo, consentindo participar.

ACEITO

NÃO ACEITO

Por favor, indique a que turma pertence:

- LEIM21D
- LEIM22D
- LEIM41N
- LEIC42D
- LT21N
- LEIRT22D
- LEIC23D
- LEIC24D
- LT41N
- LEIC22D
- LEIC41D
- LEIC41N
- LEIC31D
- LEIC43D
- LT11N
- LEIC21N
- LI51N
- Outra. Qual?

Por favor, indique em que sala se encontra atualmente:

- G2.06
- G2.07
- G2.08
- G2.09
- G2.10.2
- Outra. Qual?

Como referido no início do questionário, este estudo pretende avaliar as necessidades dos estudantes ao longo do tempo. Para isso, no futuro serão divulgados novos questionários que esperamos que possa preencher de forma igualmente voluntária.

Para que seja possível analisar as respostas ao longo do tempo, pedimos que responda às questões apresentadas em seguida. Com base nas suas respostas, será gerado um código alfanumérico que permite ligar os sucessivos questionários. Este código não implica uma identificação pessoal completa, mas apenas a parcelar e necessária para a construção do código alfanumérico para a ligação dos questionários entre si.

Por favor, responda ao seguinte:

Qualidade do ar interior e bem-estar: o impacte de uma estrutura verde natural numa sala de aula

Dia em que nasceu:

Primeira letra do **mês em que nasceu:**

Número de letras do seu **primeiro nome:**

Primeira letra do seu **último nome:**

Número de **irmãos/ãs mais velhos/as:**

Primeira letra da **cidade onde nasceu:**

Qual é a sua idade?

Com que categoria se identifica?

- Homem
- Mulher
- Outro

Qual é a sua nacionalidade?

- Portuguesa
- Outra. Qual?

Qual o meio habitacional onde reside?

- Rural
- Urbano

Tem algum tipo de atividade profissional?

- Não
- Sim, a tempo parcial. Qual?
- Sim, a tempo inteiro. Qual?

Pense numa escada como representativa da forma como os portugueses se distribuem socialmente.



Em que degrau da escada se situa?

- 10: Pessoas com melhores condições de vida (com mais dinheiro, mais educação e/ou melhores empregos)
- 9
- 8
- 7
- 6
- 5
- 4
- 3
- 2
- 1: Pessoas com piores condições de vida (com menos dinheiro, menos educação e/ou piores empregos ou sem emprego)

Caso tenha alguma doença ou incapacidade diagnosticada por um médico, por favor indique qual ou quais:

- Nenhuma
- Obesidade
- Incapacidade (e.g., motora, visual, auditiva, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença cardiovascular (e.g., hipertensão arterial, ter sofrido um AVC, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença respiratória (e.g., asma, doença pulmonar obstrutiva crónica, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença autoimune (e.g., lúpus, doença de Crohn, síndrome de Sjögren, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença neurológica (e.g., esclerose múltipla, doença de Parkinson, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença mental (e.g., depressão, ansiedade, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença metabólica (e.g., diabetes, etc.). Por favor, indique qual:
- Doença cancerígena. Por favor, indique qual
- Outra. Por favor, indique qual

Qual a sua situação face à doença COVID-19?

- Não estou nem estive infetado/a
- Em quarentena ou vigilância ativa das autoridades de saúde (contacto com caso positivo)
- Em isolamento ou confinamento obrigatório (diagnóstico confirmado)
- Recuperado/a

Em que ano ingressou pela primeira vez no ISEL?**Que ciclo de estudos frequenta atualmente?**

- 1º Ciclo Ensino Superior / Licenciatura
- 2º Ciclo Ensino Superior / Mestrado
- Outro. Qual?

Que curso do ISEL frequenta atualmente?

- Licenciatura em Engenharia Civil
- Licenciatura em Tecnologias e Gestão Municipal
- Licenciatura em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações e de Computadores
- Licenciatura em Engenharia Informática e de Computadores
- Licenciatura em Engenharia Informática e Multimédia
- Licenciatura em Engenharia Informática, Redes e Telecomunicações
- Licenciatura em Matemática Aplicada à Tecnologia e à Empresa
- Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica
- Licenciatura em Engenharia Mecânica
- Licenciatura em Engenharia Química e Biológica
- Licenciatura em Engenharia Biomédica
- Mestrado em Engenharia Civil
- Mestrado em Engenharia Electrónica e Comunicações
- Mestrado em Engenharia Informática e de Computadores
- Mestrado em Engenharia Informática e multimédia
- Mestrado em Engenharia Electrotécnica
- Mestrado em Matemática Aplicada para a Indústria
- Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial
- Mestrado em Engenharia Mecânica
- Mestrado em Engenharia Biomédica
- Mestrado em Engenharia da Qualidade e Ambiente
- Mestrado em Engenharia Química e Biológica

Indique em que medida concorda ou discorda com as seguintes afirmações:

	Discordo fortemente	Discordo um pouco	Não concordo, nem discordo	Concordo um pouco	Concordo fortemente
Eu gosto de ir ao ISEL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu gosto de aprender coisas novas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu gosto de estar nas minhas salas de aula	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu sinto-me confortável nas minhas salas de aula	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu consigo relaxar nas minhas salas de aula	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu sinto que consigo aprender bem nas minhas salas de aula	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu consigo trabalhar persistentemente e durante muito tempo numa tarefa nas minhas salas de aula	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu estou satisfeito/a com os meus sucessos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu tenho dificuldade em concentrar-me durante as aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu distraio-me com facilidade durante as aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu fico nervoso/a com facilidade durante as aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Por vezes, eu estou cansado/a durante as aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu sinto-me exausto/a durante as aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu sinto-me pressionado/a durante as aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu gosto de trabalhar em conjunto com os meus colegas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu gosto de estar nas aulas e com os meus colegas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Os meus colegas ajudam-me	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu gosto da minha posição nas aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acontecem alguns desentendimentos durante as minhas aulas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Utilize a escala de 1 a 5 e marque a opção que melhor indica sua resposta:

	Raramente ou nunca 1	2	3	4	Frequentemente ou sempre 5
Está satisfeito/a com a qualidade do trabalho que tem vindo a realizar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Está satisfeito/a com a quantidade de trabalho que tem vindo a realizar?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Demonstra responsabilidade pelo seu desempenho académico?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sente-se criativo/a e orientado/a no seu desempenho académico?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Durante os últimos 14 dias, em quantos foi afetado/a pelos seguintes problemas?

	Nunca 0	Em vários dias 1	Em mais de metade do número de dias 2	Em quase todos os dias 3
Senti-me nervoso/a, ansioso/a ou irritado/a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fui incapaz de parar de me preocupar ou de controlar as preocupações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Preocupe-me demais com diferentes assuntos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tive dificuldade em relaxar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estive tão inquieto/a que era difícil ficar sossegado/a	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estive facilmente incomodado/a ou irritável	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senti receio, como se algo terrível pudesse acontecer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Indique em que medida sentiu cada uma destas emoções, durante as últimas semanas:

	1 - Nada ou muito ligeiramente	2 - Um pouco	3 - Moderadamente	4 - Bastante	5 - Extremamente
Interessado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nervoso(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entusiasmado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Amedrontado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inspirado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ativo(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Assustado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Culpado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Determinado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Atormentado(a)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor, indique o número que melhor representa a sua opinião sobre as seguintes afirmações:

	Discordo totalmente 1	Discordo 2	Concordo 3	Concordo totalmente 4
Em situações difíceis espero sempre o melhor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu acredito que posso atingir os meus objetivos, mesmo que existam obstáculos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A minha vida tem um rumo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estou confiante que poderia lidar eficientemente com acontecimentos inesperados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sou sempre otimista relativamente ao futuro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mesmo quando as coisas parecem não ter solução, eu não desisto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Acredito que cada dia tem potencial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consigo resolver a maioria dos problemas se investir o esforço necessário	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
No conjunto, espero que me aconteçam mais coisas boas do que más	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu consigo tomar decisões pouco populares ou difíceis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sinto que a minha vida tem valor e mérito	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Consigo geralmente lidar com tudo aquilo que me surge pelo caminho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Raramente espero que as coisas boas me aconteçam	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu trabalho para atingir os meus objetivos independentemente dos obstáculos que encontro pelo caminho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tenho uma atitude positiva perante a vida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Se estiver com problemas, consigo geralmente pensar numa solução	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Por favor indique se notou a presença de algum dos seguintes elementos na sua sala de aula (pode seleccionar mais do que uma opção):

- Paredes de cor diferente de branco
- Plantas
- Quadros
- Paredes com um reboco diferente do normal

Existe algum aspeto que gostaria de acrescentar relativamente às condições da sua sala de aula no ISEL?

Poderia indicar-nos o número de dias em faltou às aulas nos últimos 2 meses?

- Nenhum dia
- 1-4 dias
- 5-7 dias
- 8-10 dias
- Mais de 10 dias

Muito obrigado pela sua participação.

Como referido no início do questionário, este estudo tem por objetivo avaliar o ambiente físico das salas de aula e as necessidades de saúde físicas e mentais dos alunos do ensino superior do ISEL ao longo do tempo.

No âmbito da sua participação, respondeu a perguntas sobre o seu estado de saúde físico e mental.

Caso tenha necessidade ou interesse, disponibilizamos algumas ligações para recursos e serviços de apoio, incluindo ao nível da saúde mental:

[Aconselhamento Psicológico no SNS 24](#)

[Outras Linhas de Apoio Psicológico](#)

Reforçamos os dados de contacto que pode utilizar caso pretenda esclarecer alguma dúvida, partilhar algum comentário, solicitar informação sobre os principais resultados e conclusões do estudo, ou manifestar interesse em participar em eventuais futuras intervenções:

Prof.ª Alexandra Rodrigues (ISEL)(alex.rodrigues@dem.isel.ipl.pt)

Prof.ª Dr.ª Síbila Marques(sibila.marques@iscte-iul.pt).

Mais uma vez, obrigado pela sua participação.

ANEXO B

Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Antes da instalação da EVN” e “Após a instalação da EVN”

Tabela B.0.1 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Antes da instalação da EVN” (continua)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Antes da instalação da EVN															
03/05/2022	SV	vazio	-	fechadas		-		09:23	858,90	453,00	1,00	33,98	19,35	20,50	51,50
03/05/2022	SN	vazio	-	fechadas		-		09:34	777,10	498,00	0,90	17,75	8,68	20,60	51,80
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:27	531,70	986,00	0,60	47,95	9,63	19,40	54,00
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:28	572,60	891,00	0,80			19,70	53,90
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:29	531,70	867,00	0,70			20,20	53,50
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:53	122,70	734,00	0,80	66,96	17,23	20,80	49,50
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:54	163,60	856,00	0,90			21,00	50,20
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:55	163,60	852,00	0,90			21,10	19,60
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	12:21	81,80	914,00	1,00	34,61	8,58	21,50	49,60
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	12:22	122,70	892,00	1,00			21,70	48,80
03/05/2022	SV	27	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	12:23	122,70	914,00	0,90			21,90	48,60
03/05/2022	SN	18	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#1	11:16	327,20	1191,00	0,50	59,36	10,23	19,20	60,70
03/05/2022	SN	18	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#2	11:17	286,30	1252,00	0,60			19,40	60,00
03/05/2022	SN	18	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#3	11:17	286,30	1330,00	0,70			19,80	60,70
03/05/2022	SN	20	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#1	11:50	204,50	1201,00	0,70	48,09	9,77	19,70	56,90
03/05/2022	SN	20	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#2	11:51	163,60	1290,00	0,70			20,10	56,50
03/05/2022	SN	20	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#3	11:52	163,60	1402,00	0,90			20,60	56,60
03/05/2022	SN	20	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#1	12:17	204,50	1411,00	1,00	44,58	9,19	20,60	55,50
03/05/2022	SN	20	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#2	12:19	163,60	1408,00	0,90			21,00	55,00
03/05/2022	SN	20	D	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#3	12:20	163,60	1443,00	1,00			21,30	55,70
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	15:45	204,50	868,00	0,70	51,22	10,85	21,70	52,60
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	15:46	204,50	930,00	0,70			22,00	53,10
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	15:47	204,50	948,00	0,70			22,20	52,30
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:18	81,80	813,00	0,60	63,84	10,31	22,20	50,30
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:19	81,80	929,00	0,70			22,50	50,60
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:20	81,80	929,00	0,80			22,70	50,10
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:48	40,90	951,00	0,60	41,43	11,00	22,00	52,50
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:49	40,90	1036,00	0,60			22,40	52,70
03/05/2022	SV	20	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:50	40,90	888,00	0,60			22,60	51,90

Tabela B.0.2 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Antes da instalação da EVN” (continuação)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Antes da instalação da EVN															
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	15:49	163,60	912,00	0,80	60,04	11,19	22,40	50,60
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	15:50	163,60	795,00	0,90			22,60	49,90
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	15:51	163,60	845,00	0,90			22,70	50,50
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:21	40,90	886,00	0,80	40,15	9,15	22,80	49,40
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:22	81,80	1021,00	0,80			23,00	49,70
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:24	40,90	837,00	0,80			23,30	48,00
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:33	40,90	776,00	0,60	59,38	11,69	22,00	50,80
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:34	0,00	747,00	0,50			22,20	50,50
03/05/2022	SN	12	E	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:35	40,90	839,00	0,70			22,20	50,60
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	20:20	81,80	648,00	0,40	46,20	12,27	21,90	46,30
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	20:21	81,80	664,00	0,40			22,10	46,50
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	20:22	81,80	657,00	0,50			22,40	45,90
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	20:54	0,00	550,00	0,80	55,71	12,71	21,00	49,30
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	20:55	0,00	604,00	0,70			21,00	49,30
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	20:56	0,00	594,00	0,80			21,30	48,10
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	21:17	0,00	513,00	0,70	48,00	14,07	20,10	51,70
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	21:18	0,00	544,00	0,60			20,30	51,70
03/05/2022	SV	8	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	21:19	0,00	533,00	0,80			20,70	50,40
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#1	20:17	122,70	567,00	0,50	36,87	12,25	22,10	44,90
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#2	20:18	122,70	534,00	0,50			22,20	44,80
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#3	20:18	122,70	600,00	0,60			22,30	44,80
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#1	20:51	122,70	501,00	0,60	43,14	14,18	20,00	52,50
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#2	20:52	81,80	495,00	0,70			20,20	51,30
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#3	20:53	81,80	534,00	0,80			20,50	50,50
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#1	21:21	0,00	493,00	0,80	44,01	13,88	20,70	48,70
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#2	21:22	0,00	502,00	0,80			20,80	48,40
03/05/2022	SN	5	F	fechadas	fechada	20H00 - 21H30	#3	21:23	0,00	491,00	0,90			21,10	47,70

Qualidade do ar interior e bem-estar: o impacte de uma estrutura verde natural numa sala de aula

Tabela B.0.3 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Antes da instalação da EVN” (continuação)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Antes da instalação da EVN															
05/05/2022	SV	16	-	fechadas	aberta	09H30 - 11H00	#1	11:02	1349,70	876,00	1,3	47,87	15,11	21,80	58,70
05/05/2022	SV	16	-	fechadas	aberta	09H30 - 11H00	#2	11:03	1267,90	827,00	1,30			22,10	57,00
05/05/2022	SV	16	-	fechadas	aberta	09H30 - 11H00	#3	11:04	1186,10	937,00	1,30			22,30	57,80
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#1	11:29	224,00	651,00	1,20	70,11	15,12	23,00	52,60
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#2	11:31	224,00	681,00	1,10			23,30	51,80
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#3	11:31	223,00	736,00	1,10			23,30	51,90
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#1	12:02	171,00	719,00	1,00	47,78	13,22	23,60	49,70
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#2	12:02	179,00	753,00	1,00			23,70	50,20
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#3	12:04	179,00	762,00	1,10			23,80	49,60
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#1	12:12	149,00	794,00	0,80	42,35	12,82	23,30	49,70
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#2	12:12	157,00	745,00	0,80			23,40	49,90
05/05/2022	SV	0	-	fechadas	fechada	11H00 - 12H30	#3	12:13	157,00	752,00	0,90			23,50	50,00
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:32	194,00	793,00	1,00	55,92	15,25	23,40	52,60
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:34	209,00	835,00	1,20			23,40	52,40
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:34	268,00	878,00	1,20			23,50	52,50
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:56	216,00	897,00	0,90	69,79	15,09	22,90	52,90
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:57	231,00	938,00	1,00			23,00	53,30
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:58	268,00	950,00	0,90			23,20	53,00
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	12:15	238,00	938,00	1,00	44,78	14,06	23,70	50,20
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	12:16	216,00	1026,00	1,00			23,70	50,90
05/05/2022	SN	15	G	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	12:17	186,00	974,00	1,10			23,80	49,20
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	15:46	804,00	1254,00	0,70	59,57	15,40	26,30	46,60
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	15:47	978,00	1378,00	0,70			26,40	47,40
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	15:48	831,00	1288,00	0,80			26,50	46,50
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:16	639,00	1507,00	0,80	49,18	14,08	26,80	46,90
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:17	675,00	1613,00	1,00			27,00	47,60
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:19	646,00	1554,00	1,00			27,00	47,10
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:44	521,00	1507,00	0,80	34,51	13,45	26,90	44,90
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:45	507,00	1645,00	0,80			26,90	46,30
05/05/2022	SV	15	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:46	507,00	1665,00	1,00			27,00	46,60

Tabela B.0.4 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Antes da instalação da EVN” (conclusão)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									Limiares proteção - Portaria 138-G-2021						
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Antes da instalação da EVN															
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	18:46	294,00	809,00	0,60		27,76	25,20	43,70
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	18:47	316,00	923,00	0,80			25,30	44,20
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	18:48	316,00	923,00	0,90			25,40	44,20
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:17	170,00	1015,00	0,70	41,95	10,07	25,10	44,70
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:18	185,00	1064,00	0,80			25,40	44,90
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:19	178,00	1102,00	0,90			25,50	44,90
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:44	112,00	983,00	0,60	44,05	10,70	24,80	43,70
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:45	134,00	1083,00	0,70			25,00	44,60
05/05/2022	SV	15	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:46	126,00	1061,00	0,60			25,20	44,20
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	18:50	156,00	1065,00	0,80	28,25	9,52	25,30	44,80
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	18:51	148,00	1003,00	0,70			25,40	44,20
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	18:51	148,00	1030,00	0,90			25,50	44,40
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:20	119,00	924,00	0,80	22,74	10,46	25,30	43,90
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:21	119,00	954,00	0,70			25,40	44,00
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:22	119,00	946,00	0,80			25,40	43,70
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:47	89,00	745,00	0,80	42,04	11,91	25,00	43,10
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:48	87,00	836,00	0,70			25,10	43,50
05/05/2022	SN	6	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19H49	104,00	817,00	0,80			25,10	43,10

Qualidade do ar interior e bem-estar: o impacto de uma estrutura verde natural numa sala de aula

Tabela B.0.5 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Após a instalação da EVN” (continua)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Após a instalação da EVN															
24/05/2022	SV	vazio	-	fechadas	aberta	-	#1	09:32	811,00	435,00	1,50	26,50	7,12	20,90	50,20
24/05/2022	SV	vazio	-	fechadas	aberta	-	#2	09:33	774,00	533,00	1,30			21,00	50,90
24/05/2022	SV	vazio	-	fechadas	aberta	-	#3	09:33	721,00	447,00	1,20			21,10	49,80
24/05/2022	SN	vazio	-	fechadas	aberta	-	#1	09:30	1127,00	415,00	1,50	18,10	6,31	20,80	52,70
24/05/2022	SN	vazio	-	fechadas	aberta	-	#2	09:31	1029,00	433,00	1,40			20,90	53,00
24/05/2022	SN	vazio	-	fechadas	aberta	-	#3	09:31	962,00	406,00	1,30			21,00	52,90
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:15	112,00	764,00	1,10	63,04	6,39	22,90	39,50
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:16	157,00	828,00	1,00			23,10	39,70
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:17	127,00	863,00	1,00			23,30	39,40
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:50	68,00	905,00	1,10	48,05	7,68	23,70	37,60
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:52	75,00	923,00	0,80			23,90	38,10
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:53	75,00	946,00	0,90			23,90	38,00
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	12:19	68,00	915,00	1,20	48,68	7,43	23,90	38,10
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	12:20	67,00	994,00	0,80			24,30	38,20
24/05/2022	SN	24	D	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	12:21	75,00	1037,00	0,80			24,30	38,20
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	15:53	279,00	701,00	1,00	39,88	6,54	24,20	36,00
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	15:54	286,00	822,00	0,70			24,30	37,20
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	15:55	354,00	778,00	0,80			24,30	36,90
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:20	127,00	819,00	1,10	42,09	7,87	24,10	37,30
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:21	134,00	922,00	0,60			24,30	37,80
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:22	119,00	913,00	0,70			24,40	37,90
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#1	16:35	97,00	839,00	0,80	43,70	7,42	24,50	36,50
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#2	16:36	97,00	949,00	0,70			24,70	37,40
24/05/2022	SV	24	B	fechadas	aberta	15H30 - 17H00	#3	16:37	89,00	951,00	0,80			24,60	37,40
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	20:16	129,00	517,00	0,10	47,02	9,29	18,70	52,50
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	20:17	129,00	495,00	0,40			19,10	51,70
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	20:18	129,00	517,00	0,40			19,40	51,00
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	20:42	84,00	480,00	0,40	54,34	9,00	18,40	54,10
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	20:43	76,00	185,00	0,50			18,70	53,50
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	20:44	76,00	504,00	0,50			19,00	52,60
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	21:06	69,00	453,00	0,30	45,74	9,47	17,70	58,50
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	21:07	61,00	456,00	0,40			18,00	57,90
24/05/2022	SV	7	C	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	21:08	54,00	469,00	0,40			18,60	57,10

Tabela B.0.6 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Após a instalação da EVN” (continuação)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	COV _T	CO ₂	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Após da instalação da EVN															
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	20:19	151,00	454,00	0,60	32,20	8,66	19,50	49,10
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	20:20	129,00	476,00	0,50			19,80	48,60
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	20:21	143,00	443,00	0,60			20,00	48,00
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	20:45	114,00	454,00	0,60	36,44	8,94	19,20	51,50
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	20:46	106,00	484,00	0,60			19,40	50,90
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	20:47	106,00	482,00	0,50			19,60	50,20
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#1	21:09	76,00	445,00	0,60	56,78	10,27	18,80	55,30
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#2	21:10	69,00	519,00	0,60			19,00	54,60
24/05/2022	SN	4	F	fechadas	aberta	20H00 - 21H30	#3	21:11	69,00	458,00	0,50			19,30	53,70
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:18	401,00	897,00	0,60	94,65	5,14	23,90	39,40
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:19	556,00	1026,00	0,70			24,00	41,10
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:20	504,00	971,00	0,70			24,20	40,30
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	11:52	112,00	902,00	0,70	60,66	4,76	24,90	37,50
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	11:53	119,00	1029,00	0,80			25,00	38,50
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	11:54	119,00	966,00	0,80			25,00	38,20
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#1	12:12	67,00	1156,00	0,70	61,66	4,62	25,70	36,60
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#2	12:13	67,00	976,00	0,80			25,70	36,50
26/05/2022	SV	23	A	fechadas	aberta	11H00 - 12H30	#3	12:14	60,00	873,00	0,80			25,70	35,60
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	18:47	534,00	1156,00	1,10	48,11	5,11	31,20	26,10
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	18:48	466,00	1203,00	0,90			31,20	26,40
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	18:49	414,00	1174,00	1,00			30,60	26,40
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:16	190,00	1413,00	0,70	43,50	4,14	29,90	29,40
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:18	175,00	1286,00	0,70			29,80	28,70
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:19	175,00	1292,00	0,70			29,80	29,10
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:37	146,00	1428,00	0,70	34,68	4,26	29,50	31,50
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:38	139,00	1382,00	0,70			29,30	31,30
26/05/2022	SV	17	C	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:39	132,00	1263,00	0,80			29,30	30,70

Qualidade do ar interior e bem-estar: o impacto de uma estrutura verde natural numa sala de aula

Tabela B.0.7 Resultados das monitorizações da qualidade do ar interior na SV e SN, “Após a instalação da EVN” (conclusão)

Data	Sala	Ocup.	TURMA	JANELAS	PORTA	AULA	PONTO	HORA	Limiares proteção - Portaria 138-G-2021		CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	T	HR
									COV _T	CO ₂					
									600*	1250	9	50	25	-	-
									µg/m ³	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	°C	%
Após da instalação da EVN															
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	18:51	361,00	835,00	0,80	23,20	3,60	30,40	25,10
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	18:52	346,00	865,00	1,00			30,30	24,90
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	18:53	324,00	896,00	0,70			30,10	24,90
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:19	169,00	898,00	0,70	31,09	4,18	29,30	26,20
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:20	161,00	897,00	0,70			29,30	26,50
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:21	146,00	856,00	0,60			29,30	26,70
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#1	19:40	168,00	892,00	0,70	20,16	4,07	29,20	28,60
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#2	19:42	161,00	885,00	0,80			29,20	28,70
26/05/2022	SN	7	I	fechadas	aberta	18H30 - 20H00	#3	19:43	146,00	889,00	0,70			29,10	28,60

ANEXO C

Artigo "*Indoor air quality for sustainability, occupational health and classroom environments through the application of earth plaster*", submetido para a conferência HERITAGE 2022 - International Conference on Vernacular Heritage: Culture, People and Sustainability, 15-17 of September 2022
Valencia - SPAIN

Indoor air quality for sustainability, occupational health and classroom environments through the application of earth plaster

Maria Idália Gomes¹, Teresa Miranda²

¹CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa; Department of Civil Engineering, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa - IPL, Lisboa, Portugal, idalia.gomes@isel.pt;

²Department of Civil Engineering, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa - IPL, Lisboa, Portugal, teresacmiranda@msn.com

Topic: 1.3 Studies of traditional techniques and materials.

Abstract

Clearly, the construction sector makes a large scale contribution to environmental degradation and urgently needs to change its principles to focus on environmentally sustainable construction. Earth, as a building material, has a potential cradle to cradle life cycle, thus, achieving a circular economy. This material also displays numerous advantages, namely: economic and ecological and as well as the ease of reuse and recyclability. The earth material also registers a high capacity to absorb and release water vapor, which helps to balance the relative humidity and the internal temperature, promoting not only the comfort of occupants but also the quality of the air in buildings. The materials applied in construction hold great influence over the indoor air quality (IAQ). IAQ ranks as such a crucial issue that it appears in the seventeen 2030 Agenda SDGs. As about 90% of our time is spent inside buildings, whether for leisure or work, it is essential to live in spaces with adequate and healthy interior environments. According to the World Health Organization, good air quality represents a basic requirement for life and is a determining factor for the health and well-being of occupants of indoor spaces. In schools, and due to the complex and diversified activities developed there, in addition to adverse health effects, indoor air quality may also have a direct impact on student concentration and performance. Understanding and studying materials, specifically earth mortars, with the ability to capture pollutants and reduce their concentration while helping to regulate the temperature and relative humidity conditions, and student comfort, is thus extremely important. Hence, with the objective of improving the development of construction strategies, this article details and highlights the beginning of the RESpira project.

Keywords: earth mortar; indoor air quality; occupational health; environment.

1. Introduction

The concept of indoor air quality is both quite complex and all-encompassing as it depends on numerous factors, including: temperature, relative humidity, air velocity, concentration of microorganisms and chemical pollutants, suspended air particles, among others (Abreu, 2010). Frequently, indoor air quality problems stem from combinations of the effects of the

various pollutants present in those spaces and sometimes present in low concentrations and hence not only due to high concentrations of a single pollutant, which renders the study of indoor air quality (IAQ) even more complex (APA, 2010). The need to eradicate or minimize exposure to indoor pollutants is, for this reason, one of the priorities defined by the World Health Organization (WHO) for protecting public health in developed countries (WHO, 2016).

The WHO estimates that indoor air pollution is responsible for 3.8 million deaths every year (WHO, 2020).

The Environmental Protection Agency (EPA) even suggests that poor indoor air quality can reduce the ability of occupants to perform mental tasks that require concentration, calculation or memorization. According to the EPA, a study carried out in European schools revealed a significant reduction in student concentration following increases in carbon dioxide levels inside the classrooms. Similar results were also obtained among students exposed to high levels of volatile organic compounds (Environmental Protection Agency, 2003) and fine particulate matter, namely PM₁₀ and PM_{2.5} (Pulimeno et al., 2020). Even though indoor air quality in schools represents a problem impacting on around 64 million students in Europe alone, it still remains a neglected subject even while gaining greater importance due to the recent COVID-19 pandemic. Ensuring good air quality in schools is, for the reasons presented, a current need that should be high on the list of priorities for buildings managers.

Good indoor air quality can be ensured through the elimination or reduction of indoor pollutant concentrations either through source control (selecting low-emission furniture, materials and equipment) or by upgrading the ventilation (diluting pollutant concentrations). This last set of measures, while quite efficient, nevertheless implies higher energy consumption with a consequent increase in costs and negative environmental impacts (Wargocki, 2007), making it essential to search for more economically and environmentally sustainable solutions.

The UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development and the Italian Society of Environmental Medicine (SI-MA) recently presented a series of recommendations designed to improve IAQ in schools that includes, among other measures, the growing of plants as specific natural filters capable of absorbing some indoor contaminants (Pulimeno et al., 2020).

Earth, as a building material, also represents a material able to help improve indoor air quality. As a construction material, this provides a potential cradle to cradle life cycle in keeping with the circular economy. This material also returns numerous advantages, specifically: economic, ecological, ease of reuse and 100% recyclability. Earth as a material also contains a high capacity to absorb and release water vapour, which assists in balancing the relative humidity and internal temperature, promoting comfort among the building's occupants and overall indoor air quality (Santos et al. al., 2020a,b).

The materials applied in construction have a great influence on air quality. The materials chosen should either improve or at least not negatively affect IAQ. Given we spend about 90% of our time inside buildings (Leech et al., 2002), whether for leisure or work, it is essential we spend this time in spaces with appropriate interior environments.

Based on the assumptions presented, the main objectives of the RESspira project, as presented in this article, focus on monitoring the concentrations of chemical and microbiological pollutants in classrooms, through the application of different types of coatings, namely earth and cementitious mortars. Monitoring the actual concentrations of these pollutants is clearly essential to producing specific protection measures for building occupants. This project will therefore take an important step in trying to answer the following questions: Is it possible to mitigate the levels of pollutants inside classrooms by applying different types of coatings? What kind of passive strategies might be adopted to mitigate the high concentrations of chemical and microbiological pollutants in classrooms?

2. School buildings vs indoor air quality vs earth mortars

School buildings have particularities that distinguish them from other types of buildings and that significantly influence their indoor air quality, such as (US EPA, 2021):

- concentration of occupants: in schools, occupants are closer, with a greater concentration of occupation by area;
- investment in maintenance: funds available for preventive maintenance are generally low, with investment in new systems and equipment still lower;
- various sources of indoor pollutants: due both to the diversity of activities taking place and the wide variety of sources of pollutants, such as: laboratory products and equipment, workshop equipment, leisure and sports spaces;
- large amounts of heating and ventilation equipment and often with complex systems.
- variety of spaces: in addition to classrooms and offices, schools generally contain other types of spaces, with different maintenance and intervention requirements, including: laboratories, amphitheatres, cafeterias, gyms and diversified green spaces.
- adapted and temporary facilities: spaces are often adapted for other purposes or are facilities installed for temporary occupations.

According to the EPA, ineffective action when facing indoor air quality problems in schools can also indirectly lead to: increased absenteeism; reduced levels of comfort and performance among students and teachers; jeopardise the functioning and efficiency of systems and equipment; increase the probability of the departure and/or transfer of students and teachers; and produce negative publicity for the establishment impacting on the community's trust.

In Portugal, the monitoring of indoor air quality, pursuant to Decree-Law no. 79/2006 of 4 April, became mandatory for certain types of buildings, including school buildings, with the establishing of maximum values for the concentration of certain pollutants that the respective law states were selected according to guidance values issued by the World Health Organization (WHO) and national and international standards handed down by the International Organization for Standardization (ISO) and the Committee Européen de Normalization (CEN).

Currently, and in accordance with this development in the prevailing legal framework, the provisions on indoor air quality are regulated by specific legislation that determines the need to monitor the following physical-chemical pollutants and microbiological parameters: particulate matter (fraction PM_{10} and $PM_{2.5}$), volatile organic compounds (VOC), carbon monoxide (CO), formaldehyde (CH_2O), carbon dioxide (CO_2), radon, bacteria and fungi.

2.1. Indoor air quality vs health effects

Poor indoor air quality has direct effects on the health of occupants with the appearance of a set of symptoms potentially directly associated with the time spent inside buildings and described in the literature as Sick Building Syndrome (SBS) or Building-Related Illnesses (BRIs). SBS differs from the BRIs as there is no etiology knowledge on the symptoms described in the case of SBS and it is therefore not possible to associate the symptoms described by occupants with their particular exposure inside the building. However, in the case of the BRIs the causes of the pathologies developed are perfectly known (Jones, 1999).

Although apparently minor, Jones (1999) maintains the symptoms associated with SBS may have significant impacts on the economy and public health as they contribute to increased absenteeism and reduced employee productivity. Furthermore, in the case of schools, students and teachers register decreased levels of concentration and performance.

The likelihood an individual will become ill or develop symptoms due to exposure to certain indoor pollutants depends on a variety of factors, such as individual susceptibility, the concentration levels of the pollutant, their physical and mental health state at the time of exposure, and the duration and frequency of exposure. Each pollutant, depending on its characteristics and the concentrations present in indoor air, can have noxious impacts on occupant health.

Jacobson et al. (2019) analyze the direct risks CO_2 poses to human health with acute or even chronic exposure potentially causing psychological and

physical effects; ranging from depressive behaviors, drowsiness to bone demineralization and physiological stress. High levels of CO₂ can be found in densely populated indoor environments such as sports halls, hospital waiting rooms as well as classrooms. An acceptable CO₂ value is normally 400 ppm for indoor environments even though this value may potentially reach between 600 and 800 ppm with and this increase primarily due to human respiration (Hays et al., 1995). These values can easily rise to 1000 ppm or more (Wu et al., 2021), resulting in symptoms such as loss of concentration, states of drowsiness, headaches, among others. Thus, we may clearly perceive the importance of reducing CO₂ levels in interior spaces to drive increases in the IAQ for building occupants. As mentioned, and due to the complex and diversified activities carried out, in addition to the adverse effects on health, indoor air quality in schools may also directly impact on the concentration and performance of their occupants.

2.2. Earth Mortars

Current consumption of the earth's resources has led to levels of development in Western society that are now deemed unsustainable. Perceived environmental disturbances clearly indicate that, unless urgent measures are taken, humans will encounter considerable difficulties in adapting to their global habitat. The construction sector alone contributes on a large scale to environmental degradation. In 2018, the building and construction sector accounted for 39% of carbon dioxide (CO₂) emissions from processes and energy, and 36% from end-use energy; of these, 11% resulted from products such as cement, steel and glass, and from the manufacture of building materials (IEA and UNEP, 2019). Cement manufacturing is known to be a very CO₂ intensive process and responsible for about 60% of total emissions worldwide (GCCA, 2020). By weight, cement is the second most consumed substance in the world, trailing behind only water. One building material with very different properties to cement is earth as a construction material. Earth as a construction material (Fig. 1) displays numerous advantages, in particular: economic, as local material,

without the need for transport or calcination, easy to extract and transform, and with low processing costs. Earth is simultaneously ecological, hence, with low energy consumption associated with its manufacture and, in many cases, its transport (since the material is obtained from construction work site), thus reducing the carbon footprint and the corresponding CO₂ emissions due to low embodied energy. The ease of reuse and recyclability represents another major environmental advantage in allowing for 100% reuse (Gomes et al., 2018). This material also returns thermal comfort as another contribution due to its low thermal conductivity, which stems from high levels of thermal inertia due to significant wall thickness. Last but not least, this contributes to interior comfort in keeping with clay's ability to regulate the relative humidity of the interior environment as a hygroscopic material - that is, fostering the regulation of the relative humidity in such environments and thereby promoting occupant comfort in buildings and indoor air quality (Santos et al., 2020a,b).



Fig. 1. Naturarte, rural tourism built with the earth technique, located in São Luís, Portugal.

3. RESpira Project

The RESpira project (Regulation of Indoor Air Quality Through the Use of Eco-Efficient Mortars) will focus on monitoring the concentrations of chemical and microbiological pollutants in classrooms, through the application of different types of coatings, namely earth and cementitious mortars. To achieve the project's objectives, earth (two different earth types will be used) and cement mortars will first be applied in classrooms

(Fig. 2). For the results to be as comparable as possible, the mortars will be applied in rooms with the same type of usage, number of occupants, temperature and relative humidity.

After applying the coatings, surveys will be carried out among students who attend the pilot classrooms to monitor and quantify the benefits, the feelings of comfort and their ability to concentrate due to the application of the different coatings (sustainable vs. common coatings). It is preferable to carry out these surveys in the winter, spring and summer seasons.

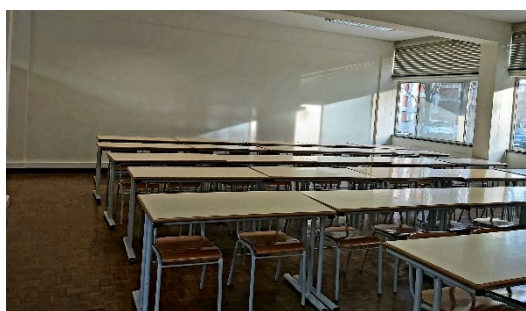


Fig. 2. Classroom to be plastered with earth mortars.

This research will contribute directly to ascertain whether or not improvements in indoor air quality are confirmed following the application of earth coatings in comparison with the current types. It is important to refer here that earth plasters are presented as eco-efficient and healthy in keeping with several of the UN Sustainable Development Goals (SDGs). Furthermore, this study emerges as unprecedented given the conditions are real (as opposed to simulations).

In the same three seasons (winter, spring and summer), air and surface samples will be collected for microbiological research (fungi and bacteria) using selective culture media and with the mortars also subject to microbiological analysis (Viegas et al. 2019). Simultaneously, evaluations of the chemical and physical parameters (T, HR, CO, CO₂, PM_x) will be carried out by direct reading equipment (Fig. 3). In addition, electrostatic precipitators will be placed for one month in the pilot and “common” rooms, which will subsequently be analyzed chemically and microbiologically (Viegas et al. 2021).



Fig. 3. Equipment for measuring pollutants.

4. Conclusions

There is currently sufficient scientific evidence relating complaints and environmental discomfort felt by the occupants of buildings to the construction materials applied inside these buildings. Hygienic and human-toxicological aspects are now beginning to be studied in built environments in order to guarantee not only the existence of pleasant and comfortable environments but also, and especially, healthy indoor surroundings.

Indoor air quality is very important both for the comfort and the health of building inhabitants as poor indoor air quality can have a high impact on health, low comfort levels and poor cognitive performance among the building's occupants. We would here stress how the levels of pollution inside buildings are often higher than those verified on the exterior. Understanding the determinants of health constitutes a fundamental issue for society, whether in classrooms or in other environments with high population densities, in order to nurture better health conditions. Another important factor is prevention as good IAQ boosts the health of the occupants inhabiting such buildings, not only improving health throughout life but also cutting the cost burden on national health services due to the reduction in Sick Building Syndrome related problems. The RESpira project thus aims to help answer some of the questions presented in order to achieve improvements in the indoor air quality of schools.

Acknowledgements

The authors acknowledge the Instituto Politécnico de Lisboa under the auspices of project IPL/2021/RESpira_ISEL. The authors also are grateful for support from the Foundation for Science and Technology through funding the UIDB/04625/2020 project at the CERIS research unit.

References

- Abreu, C.F.C. (2010). *Qualidade do ar interior. O ambiente interior e a saúde dos ocupantes de edifícios de habitação*. Master's dissertation, Beira Interior University.
- APA (2010). *Qualidade do ar em espaços interiores: um guia técnico*. 2010.
- Environmental Protection Agency U.S. (2003). *Indoor air quality & student performance*. 1–8.
- Gomes, M.I., Faria, P., Gonçalves, T.D. (2018). Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers. *Journal Cleaner Production*, 172, 2401-2414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.170>
- Hays, S., Gobbekk, R., Ganick, N. (1995). *Indoor air quality. Solutions and strategies*. 1st ed. Ed. McGraw-Hill.
- Jacobson, T.A., Kler, J.S., Hernke, M.T., Braun, R.K., Meyer, K.C., Funk, W.E. (2019). Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide. *Nature Sustainability*, 2, 691-701. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0323-1>
- Jones, A.P. (1999). Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment* 33(28), 4535-4564. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00272-1](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00272-1)
- IEA-International Energy Agency, UNEP-United Nations Environment Programme (2019). *Global status report for buildings and construction - towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector*. Ed. Global Alliance for Building and Construction. 12 pp. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/34572>
- Leech, J.A., Nelson, W.C., Burnett, R.T., Aaron, S., Raizenne A.M.E. (2002). It's about time: A comparison of Canadian and American time-activity patterns. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 12, 427-432. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500244>
- Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazz, S., Colao, A., Miani, A. (2020). Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). *Health Promotion Perspectives*, 10(3), 169-174. <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>
- Santos, T., Faria, P., Gomes, M.I. (2020a, March 10-14). Earth, gypsum and cement-based plasters contribution to indoor comfort and health. 3rd RILEM Spring Convention.
- Santos, T., Gomes, M.I., Silva, A.S., Ferraz, E., Faria, P. (2020b). Comparison of mineralogical, mechanical and hygroscopic characteristic of earthen, gypsum and cement-based plasters. *Construction & Building Materials*, 254, 119222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119222>
- US EPA. (2021). *Reference guide for indoor air quality in schools - creating healthy indoor air quality in schools*. Eds. United States Environmental Protection Agency. 1–119.
- Viegas, C., Dias, M., Almeida, B., Vicente, E., Candeias, C., Caetano, L.A., Carolino, E., Alves C. (2021). Loading rates of dust and bioburden in dwellings in an inland city of Southern Europe. *Atmosphere*, 12, 378. <https://doi.org/10.3390/atmos12030378>
- Viegas, C., Almeida, B., Monteiro, A., Caetano, L.A., Carolino E., Quintal-Gomes A., Twaruzek M., Kosicki R., Marchand G., Viegas S. (2019). Bioburden in healthcare centers: Is the compliance with Portuguese legislation enough to prevent and control infection? *Building Environment*, 160, 106226. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106226>
- Wargocki, P. (2007). *Improving indoor air quality improves the performance of office work and school-work*. IAQVEC 2007 Proceedings - 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings: Sustainable Built Environment. 2, 647-654.
- WHO (2016). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. Eds. WHO, Geneva, Switzerland. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>
- WHO (2020). *Household Air Pollution and Health*. Eds. WHO, Geneva, Switzerland. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Wu, P., Fang, Z., Luo, H., Zheng, Z., Zhu, K., Yang, Y., Zhou, X. (2021). Comparative analysis of indoor air quality in green office buildings of varying star levels based on the grey method. *Building & Environment*, 195, 107690. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107690>