

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Tiago Daniel Fontinha Bolhão

**NOVOS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA**  
**O PAPEL DA ENERGIA E DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA CONCEÇÃO**  
**DOS ESPAÇOS ESCOLARES DO SÉCULO XXI**

**Dissertação de Mestrado em Geografia Física - Ambiente e Ordenamento do Território,**  
**orientada pelo Professor Doutor António Manuel Rochette Cordeiro, apresentada ao**  
**Departamento de Geografia e Turismo da Faculdade de Letras da Universidade de**  
**Coimbra.**

Setembro de 2023



UNIVERSIDADE D  
**COIMBRA**

Tiago Daniel Fontinha Bolhão

**NOVOS CAMINHOS PARA A  
SUSTENTABILIDADE URBANA**

O PAPEL DA ENERGIA E DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA  
CONCEÇÃO DOS ESPAÇOS ESCOLARES DO SÉCULO XXI

**Dissertação de Mestrado em Geografia Física - Ambiente e Ordenamento do  
Território, orientada pelo Professor Doutor António Manuel Rochette  
Cordeiro, apresentada ao Departamento de Geografia e Turismo da  
Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra.**

Setembro de 2023

FACULDADE DE LETRAS

**NOVOS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA  
O PAPEL DA ENERGIA E DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA CONCEÇÃO  
DOS ESPAÇOS ESCOLARES DO SÉCULO XXI**

**Ficha Técnica**

<b>Tipo de trabalho</b>	<b>Dissertação</b>
<b>Título</b>	<b>NOVOS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA</b>
<b>Subtítulo</b>	<b>O Papel Da Energia E Das Novas Tecnologias Na Conceção Dos Espaços Escolares Do Século XXI</b>
<b>Autor/a</b>	<b>Tiago Daniel Fontinha Bolhão</b>
<b>Orientador/a(s)</b>	<b>Doutor António Manuel Rochette Cordeiro</b>
<b>Júri</b>	<b>Presidente: Doutor Albano Augusto Figueiredo Rodrigues</b> <b>Vogais:</b> <b>1. Doutora Carolina da Graça Cúrdia Lourenço Coelho</b> <b>2. Doutor António Manuel Rochette Cordeiro</b>
<b>Identificação do Curso</b>	<b>2º Ciclo em Geografia Física - Ambiente e Ordenamento do Território</b>
<b>Área científica</b>	<b>Geografia Física</b>
<b>Especialidade/Ramo</b>	<b>Ambiente e Ordenamento do Território</b>
<b>Data de defesa</b>	<b>17/10/2023</b>
<b>Classificação</b>	<b>19 Valores</b>





## **Agradecimentos**

Aos meus pais, por todos os valores que me transmitem diariamente e pelo esforço e dedicação de sempre. Sem vós isto não seria possível. Muito obrigado por tudo.

Aos meus avós, pela capacidade de serem casa após tantas horas longe, mas que sempre dão o carinho necessário. À minha família por todos os momentos de partilha e aprendizagem. Obrigado.

À Inês, pelo amor, afeto e paciência constantes. Um enorme gosto de partilhar todos os momentos e contigo poder aprender diariamente.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Rochette Cordeiro, agradeço a dedicação, a transmissão constante de novos conhecimentos e principalmente pela capacidade de abrir novos horizontes em conteúdos relacionados com a Geografia.

Aos meus amigos e afilhados que partilharam e transmitiram tantos ensinamentos, a vós devo também uma parte do meu percurso académico.

Aos professores e professoras pelas aprendizagens ao longo do meu percurso académico, o meu agradecimento.

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram ao meu percurso académico e pessoal, o meu profundo agradecimento.

## **RESUMO**

### **NOVOS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA: O PAPEL DA ENERGIA E DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA CONCEÇÃO DOS ESPAÇOS ESCOLARES DO SÉCULO XXI**

O desenvolvimento sustentável tornou-se uma das principais premissas dos países nas últimas duas décadas. Porém, a evolução do termo desenvolvimento sustentável, constata-se com particular ênfase, desde os anos 60, culminando hoje, com a adoção da Agenda 2030 e consequentemente dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Nos últimos anos, o desenvolvimento sustentável tem-se consolidado como um dos essenciais princípios adotados pelos países com o desígnio de garantir um futuro mais equilibrado e harmonioso para o planeta. Este paradigma tem sido impulsionado pelo reconhecimento dos impactos negativos causados pela atividade humana e pela necessidade urgente de preservar os recursos naturais e promover a qualidade de vida das gerações presentes e futuras. Neste sentido, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), é exemplar na procura de novas soluções para melhorar a qualidade de vida da população, conjugando uma diversidade de níveis para dar resposta às desigualdades sociais, económicas e ambientais, mas também para promover um maior pensamento estratégico na assunção de políticas e metas a atingir (ONU, 2015)

Estes fatores que comprometem não apenas o meio ambiente, mas também a qualidade de vida das pessoas que nelas residem, deverão estar alinhados. Conscientes dessa realidade, os Estados-membros, reunidos em 2015, na assembleia geral da ONU adotaram, na cidade de Nova Iorque, a Agenda 2030, (ONU, 2015) um conjunto de diretrizes e metas para o desenvolvimento sustentável, associados a cada um dos 17 ODS.

Neste contexto, a presente dissertação tem como objetivo proporcionar uma peça ou mesmo uma visão inovadora para uma das peças de um desenvolvimento sustentável urbano, aqui utilizando um espaço escolar localizado em Coimbra como estudo de caso. O foco concretizado no espaço escolar, pretende explorar e demonstrar a viabilidade de soluções sustentáveis e tecnológicas que podem ser aplicadas à posteriori em outras áreas urbanas, visando a melhoria da qualidade de vida da população e mitigação das temperaturas extremas e do efeito das alterações climáticas e simultaneamente, proporcionar fontes locais de aprendizagem para a educação dos jovens cidadãos com vista à ideia de uma crescente resiliência às alterações climáticas. Algumas das soluções que se pretendiam equacionar para um espaço escolar como

projeto piloto, passavam pela produção de energia a partir de fontes de energia renovável (ER), melhorando a eficiência dos edifícios, assim como a criação de espaços verdes e azuis, garantindo uma maior amenização das temperaturas e no bem-estar da população escolar, possibilitando também uma maior aproximação desta à problemática da resiliência às alterações climáticas em espaço urbano. Através da análise e aplicação de estratégias multidisciplinares, esta pesquisa procura apresentar um modelo integrado que aborde os desafios ambientais, sociais e económicos enfrentados pelas cidades, e fomentar uma maior consciencialização e pensamento estratégico para a implementação de políticas e medidas sustentáveis. Acredita-se que a adoção dessas medidas pode resultar em benefícios significativos, promovendo um maior planeamento urbano, a inclusão social e a preservação dos recursos naturais.

No entanto, as cidades enfrentam grandes desafios, como o consumo intensivo de energia e as emissões significativas de gases de efeito de estufa, e o aumento da temperatura nas cidades e por conseguinte nos espaços escolares.

Ao examinar o espaço escolar como um ponto de partida, esta dissertação procura inspirar ações transformadoras na construção de espaços urbanos mais sustentáveis e preparados para os desafios do século XXI, bem como de promover uma crescente consciencialização das novas gerações para os problemas que o planeta vai enfrentar. O estudo procura fornecer a análise do microclima da Escola Básica Eugénio de Castro, procurando entender a influência dos espaços verdes e azuis nas temperaturas, assim como procurar soluções para a amenização das temperaturas no espaço escolar.

Desta forma, e conjugando medidas de adaptação do espaço arbóreo à realidade microclimática, a implementação de painéis fotovoltaicos (PV), assim como a utilização mais eficiente da energia serão o foco desta dissertação, que procura responder à dimensões pedagógicas associadas aos espaços verdes escolares, assim como à amenização da temperatura, procurando o conforto da comunidade no espaço escolar.

Dessa forma, este estudo contribui para o avanço do conhecimento e para promoção de práticas sustentáveis no âmbito local, enquanto oferece uma visão holística sobre o desenvolvimento sustentável nas cidades, reforçando a importância da implementação de medidas efetivas para um futuro mais sustentável e resiliente.

**Palavras-chave:** Espaços Escolares; Espaços verdes; Cidades sustentáveis e inteligentes; Energia; Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

### **NEW PATHS TO URBAN SUSTAINABILITY: THE ROLE OF ENERGY AND NEW TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF 21<sup>st</sup> CENTURY SCHOOL SPACES**

Sustainable development has become one of the main premises of countries over the last two decades. However, the term sustainable development has evolved with particular emphasis since the 1960's, culminating today with the adoption of the 2030 Agenda and consequently the Sustainable Development Goals (SDGs).

In recent years, sustainable development has been consolidated as one of the main principles adopted by countries with the aim of guaranteeing a more balanced and harmonious future for the planet. This paradigm has been driven by the recognition of the negative impacts caused by human activity and the urgent need to preserve natural resources and promote quality of life for present and future generations. In this sense, the 2030 Agenda of the United Nations (UN) is exemplary in the search for new solutions to improve the quality of life of the population, combining a variety of levels to respond to social, economic and environmental inequalities, but also to promote greater strategic thinking in the assumption of policies and goals to be achieved (UN, 2015).

These factors jeopardise not only the environment, but also the quality of life of the people who live there, so there must be a central premise that they must be mitigated in the near future. Aware of this reality, at the UN General Assembly in New York in 2015, states adopted the 2030 Agenda (UN, 2015), a set of guidelines and targets for sustainable development associated with each of the 17 SDGs.

In this context, this dissertation aims to provide a piece or even an innovative vision for one of the pieces of urban sustainable development, here using a school space located in Coimbra as a case study. The focus on the school space is intended to explore and demonstrate the viability of sustainable and technological solutions that can be applied in other urban areas, with a view to improving the quality of life of the population and mitigating extreme temperatures and the effect of climate change, while at the same time providing local sources of learning for the education of young citizens with a view to the idea of increasing resilience to climate change. Some of the solutions that were intended to be considered for a school space as a pilot project included producing energy from renewable energy sources (RE), improving the efficiency of buildings, as well as creating green and blue spaces, guaranteeing greater temperature



mitigation and the well-being of the school population, while also bringing them closer to the issue of resilience to climate change in urban areas.

By analysing and applying multidisciplinary strategies, this research seeks to present an integrated model that addresses the environmental, social and economic challenges faced by cities, and to foster greater awareness and strategic thinking for the implementation of sustainable policies and measures. It is believed that the adoption of these measures can result in significant benefits, promoting urban resilience, social inclusion and the preservation of natural resources.

However, cities face major challenges, such as intensive energy consumption and significant greenhouse gas emissions, and rising temperatures in cities and therefore in school spaces.

By examining the school space as a starting point, this dissertation seeks to inspire transformative actions in the construction of more sustainable urban spaces that are prepared for the challenges of the 21st century, as well as to promote a growing awareness among new generations of the problems facing the planet. The study aims to analyse the microclimate of the Eugénio de Castro Primary School, trying to understand the influence of green and blue spaces on temperatures, as well as looking for solutions to mitigate temperatures in the school space.

In this way and combining measures to adapt the arboreal space to the microclimatic reality, the implementation of photovoltaic (PV) panels, as well as the more efficient use of energy, will be the focus of this dissertation, which seeks to respond to the pedagogical dimensions associated with school green spaces, as well as temperature mitigation, seeking the comfort of the community in the school space.

In this way, this study contributes to the advancement of knowledge and the promotion of sustainable practices at the local level, while offering a holistic view of sustainable development in cities, reinforcing the importance of implementing effective measures for a more sustainable and resilient future.

**Keywords:** School spaces; Green spaces; Sustainable Smart Cities; Energy; Sustainability.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA .....	5
1.2 OBJETIVOS .....	7
1.2.1 <i>Objetivos Gerais:</i> .....	7
1.2.2 <i>Objetivos Específicos:</i> .....	7
1.3. METODOLOGIA.....	8
<b>CAPÍTULO II – ESTADO DE ARTE</b> .....	<b>10</b>
2.1 O PROCESSO RELATIVO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	10
2.2. A REDE DE EQUIPAMENTOS ESCOLARES PORTUGUESA .....	15
2.3. O PAPEL DO ARBÓREO COMO REGULADOR DO MICROCLIMA (NATURE-BASED SOLUTIONS).....	19
2.4. CIDADES INTELIGENTES SUSTENTÁVEIS (SUSTAINABLE SMART CITIES).....	21
2.5. MATRIZ ENERGÉTICA .....	25
2.5.1. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	27
2.5.2. TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	31
2.5.3. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO.....	33
2.5.4. DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE PORTUGAL.....	36
2.5.4. FORMAS DE PRODUÇÃO.....	37
<b>CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>40</b>
3. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO-GEOGRÁFICO.....	40
3.1. CARATERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE COIMBRA .....	40
3.2. - CLIMA.....	42
3.3. OCUPAÇÃO DO SOLO .....	43
3.4. - CRESCIMENTO URBANO .....	44
<b>CAPÍTULO IV - O CASO DE ESTUDO DA ESCOLA BÁSICA EUGÉNIO DE CASTRO</b> .....	<b>47</b>
4. A ESCOLA BÁSICA DE 2º E 3º CICLO EUGÉNIO DE CASTRO.....	47
4.2. ANÁLISE SINÓPTICA DE DIA 26 DE JULHO DE 2023.....	51
4.3.1. PERCURSO DA MANHÃ - 26-07-2023 INÍCIO ÀS 10H12 E TÉRMINO ÀS 11H47 .....	52
4.3.2. PERCURSO DA TARDE - 26-07-2023 INÍCIO ÀS 15H24 E TÉRMINO ÀS 16H12 .....	54
4.4. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS E A REABITAÇÃO DA ESCOLA BÁSICA EUGÉNIO DE CASTRO.....	58
4.5. NBS NA ESCOLA EUGÉNIO DE CASTRO.....	61
4.6. AS NOVAS TECNOLOGIAS E A ESCOLA .....	62
4.7. DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	67
<b>CAPÍTULO V - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>78</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO DOS ODS E DA ORGANIZAÇÃO DESTES EM BIOSFERA, SOCIEDADE E ECONOMIA. FONTE: ADAPTADO DE ROCKSTRM E SUKHDEV (2016).....	14
FIGURA 2 - PROJECTO-TIPO PARA A ESCOLA PREPARATÓRIA DO ENSINO SECUNDÁRIO: EXEMPLO DE PLANTA GERAL (ALEGRE ET AL. 2010) .....	18
FIGURA 3 - COMPONENTES FÍSICAS DO ECOSISTEMA URBANO. FONTE: OKE ET AL. (2017) .....	21
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE RENOVÁVEL NA UE-27 PARA A) OTIMIZADA A ATUAL QUOTA DE RES E PARA AS QUOTAS RES PREVISTAS NO ANO B) ANO 2030, C) ANO 2040 E D) ANO 2050. – FONTE: POTRČ ET AL. (2021) .....	29
FIGURA 5 - IRRADIAÇÃO DIRETA NORMAL MÉDIA, NO PERÍODO 1992-2020. FONTE: SOLARGIS. 30	
FIGURA 6 - POTENCIAL DA PRODUÇÃO PV MÉDIA, PARA O PERÍODO (1994-2020). FONTE: SOLARGIS.....	31
FIGURA 7 - DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE PORTUGAL EM RELAÇÃO AO ESTRANGEIRO. FONTE: DGEG, 2022, P. 17.....	36
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DAS FONTES ENERGÉTICAS UTILIZADAS PARA PRODUÇÃO. FONTE: DGEG, 2022 .....	37
FIGURA 9 - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DA CIDADE DE COIMBRA. FONTE: CORDEIRO, 2021, P. 7.....	41
FIGURA 10 - CARTA DE OCUPAÇÃO E USO DO SOLO PARA O CONCELHO DE COIMBRA. FONTE: PRÓPRIA .....	43
FIGURA 11 - A MORFOLOGIA DA CIDADE DE COIMBRA E CRESCIMENTO URBANO NA 2ª METADE O SÉCULO XX. FONTE: CORDEIRO, 2021.....	46
FIGURA 12 - PLANTA DA ESCOLA BÁSICA EUGÉNIO DE CASTRO. FONTE: CATRÉ, ET AL. (2020)	48
FIGURA 13 - IMAGEM VIRTUAL DA ESCOLA BÁSICA EUGÉNIO DE CASTRO E ÁREAS CIRCUNDANTES VIA BLENDER. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.....	48
FIGURA 14 - ESCOLA BÁSICA 2º E 3º CICLOS PÊRO VAZ DE CAMINHA (PORTO).....	49
FIGURA 15 - ESCOLA BÁSICA 2º E 3º CICLOS DE CARREIRA (LEIRIA). .....	50
FONTE: GOOGLE MAPS.....	50
FIGURA 16 - ESCOLA BÁSICA 2º E 3º CICLOS EUGÉNIO DE ANDRADE - PARANHOS (PORTO). FONTE: GOOGLE MAPS .....	50
FIGURA 17 - SITUAÇÃO SINÓPTICA DE DIA 26 DE JULHO DE 2023. FONTE: WETTERZENTRALE ..	52
FIGURA 18 - CARTOGRAMA TÉRMICO DA ESCOLA BÁSICA EUGÉNIO DE CASTRO DA MANHÃ DE 26 DE JULHO DE 2023 .....	53
FIGURA 19 - CARTOGRAMA TÉRMICO (COM SALAS) DA MANHÃ DE DIA 26 DE JULHO DE 2023 .	54
FIGURA 20 - CARTOGRAMA TÉRMICO DA TARDE DE DIA 26 DE JULHO DE 2023.....	55
FIGURA 21 - CARTOGRAMA TÉRMICO (COM SALAS) DO DIA 26 DE JULHO DE 2023 .....	56

## **ÍNDICE DE QUADROS**

QUADRO 1 - POTENCIAL DE REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE EM RELAÇÃO AO ANO DE 2005  
(FONTE: RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS Nº 107/2019, 2019; CFR. BASTISTA (2021) .... 25

QUADRO 2.1. - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA MUNDIAL, ADAPTADO DE LETCHER (2020). 26

QUADRO 2.2. - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MUNDIAL, ADAPTADO DE LETCHER (2020)... 26

## ÍNDICE DE IMAGENS

Imagem 1 - Bancos inteligentes de carregamento. Fonte: Raposo, F. (2020) .....	62
Imagem 2 - Livraria ao ar livre de Weeze, Alemanha. Fonte: própria .....	63
Imagem 3 - Realidade aumentada da Escola Eugénio de Castro .....	65
Imagem 4 - Realidade aumenta da escola Eugénio de Castro. Áreas de mitigação de calor .....	65
Imagem 5 - As áreas de sombra às 9 horas da manhã .....	69
Imagem 6 - As áreas de sombra às 12 horas da manhã .....	70
Imagem 7 - As áreas de sombra às 16 horas da tarde .....	71
Imagem 8 - A integração das NBS e do PV na Escola Básica Eugénio de Castro. Pavilhão e Bloco C .....	73
Imagem 9 - A integração das NBS e do PV na Escola Básica Eugénio de Castro. Bloco A, B e de serviços.....	74
Imagem 10 - A integração das NBS e do PV na Escola Básica Eugénio de Castro .....	75

## **Abreviaturas, siglas ou acrónimos**

CER - Comunidade de Energia Renovável

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

ER – Energia Renovável

EU – União Europeia

GEE – Gases com efeito de Estufa

GWh - Gigawatts

IEA - International Energy Agent

IRENA - Agência Internacional para a Energia Renovável

LED – Diodo Emissor de Luz

NBS - Nature-Based Solutions

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

PV – Painéis Fotovoltaicos

RNC – Roteiro para a Neutralidade Carbónica

SEN – Sistema Elétrico Nacional

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

UCLG - United Cities and Local Governments

UE – União Europeia

UNCED - Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento

UNCHE - Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano

UN-DESA - Divisão de População, do Departamento de Assuntos Económicos e Social, das Nações Unidas

UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas

## Capítulo I - Introdução

### 1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA

Não sendo recentes as preocupações sobre sustentabilidade, como refere Susan Baker (2016), estas já podem ser observadas desde o século XVIII e XIX com Malthus e William Stanley Jevons, com preocupações essencialmente sobre o crescimento populacional – Malthus - e a escassez energética, nomeadamente o carvão – Jevons - (Jevons e Malthus cfr. Baker, 2016) é nos anos 60 e 70 do século passado que o tema ganha particular eco na opinião pública, com obras importantes como a Primavera Silenciosa (Carson, 1962) e o relatório Limites do Crescimento (Meadows e Meadows, 1972).

O forte crescimento demográfico observado desde 1950, momento em que cerca de 2,5 mil milhões de pessoas habitavam o planeta, observou-se um grande impulso com um crescimento populacional de aproximadamente 6 mil milhões, triplicando a população em apenas cinquenta anos (Kochhar *et al.*, 2014).

Desde 2010, observou-se um crescimento de mil milhões de pessoas, como refere o relatório da Divisão de População, do Departamento de Assuntos Económicos e Social, das Nações Unidas (UN-DESA, 2022). Este crescimento, verificou-se essencialmente nas cidades, com 56,2% a viver atualmente nas áreas urbanas e com as perspetivas futuras a indicarem que até 2030 serão 60,4% (UN-Habitat, 2022), e as recentes estimativas indicam que habitam o planeta cerca de 8 mil milhões de pessoas (ONU, 2022). Assim, os territórios enfrentam cada vez mais desafios devido à rápida urbanização.

Como estimado na década anterior, as cidades consomem 75% dos recursos naturais globalmente disponíveis, tais como energia primária, matérias-prima, água e alimentos. Aliás, estima-se que o número aumente até 90 mil milhões de toneladas já no ano de 2050, em comparação com 40 mil milhões de toneladas em 2010 (UNEP, 2012), pelo que urge mitigar os efeitos negativos da sobrepopulação em espaços urbanos e contribuir positivamente para os desafios decorrentes dos mesmos, como são exemplos os gases de efeitos de estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Assim, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas com a energia, é um dos cerne da transição energética como referido pela Agência Internacional para a Energia Renovável (IRENA, 2019) perante a necessidade de reduzir o número de centrais de

produção de energia a partir de fontes não renováveis aumentaram para níveis recorde em 2021 como referido na *Internacional Energy Agent* (IEA, 2022).

A atual crise energética, decorrente da inflação provocado pela guerra da Rússia contra a Ucrânia, renovou o paradigma sobre a aquisição de energia ao exterior. Apesar das fontes de Energias Renováveis ser um tema presente há vários anos, hoje, é uma das principais equações para a redução da fatura de energia das cidades, e ao mesmo tempo reduzir a pegada carbónica. Neste contexto os espaços escolares podem (e devem) servir de exemplo para a análise do potencial contributo para as cidades sustentáveis e para um maior conforto da comunidade escolar associado à energia.



## 1.2 OBJETIVOS

De modo a dar resposta aos novos desafios urbanos e climáticos este trabalho visa transmitir uma abordagem holística para a gestão sustentável e de resiliência aos novos desafios climáticos.

Num momento de incerteza como o vivenciado ao longo da última década, com temperaturas extremas em vários pontos do globo e eventos extremos associados às alterações climáticas, como tempestades, secas, ondas de calor, doenças e tantos outros problemas decorrentes, instala-se uma crise energética, decorrente de uma guerra da Rússia contra a Ucrânia e por conseguinte um inflacionar dos custos de vida, associados aos preços energético, assim esta dissertação pretende dar um contributo para um conjunto de questões.

### 1.2.1 Objetivos Gerais:

- Utilizar novas ferramentas de análise, tratamento e visualização de dados que poderão ajudar, e com base num equipamento público, no planeamento do espaço urbano;
- Procurar como a energia solar e fotovoltaica poderá ser a resposta do presente para a redução do consumo por fontes não renováveis e dos preços decorrentes do consumo energético;
- Equacionar a influência do arbóreo na amenização das temperaturas em espaços escolares, por vezes “áridos” e dessa forma contribuir para a implementação de espaços sustentáveis.

### 1.2.2 Objetivos Específicos:

- Analisar e interpretar do espaço físico da Escola Básica de 2º e 3º ciclos Eugénio de Castro, numa perspetiva do equacionar a eficiência energética do espaço;
- Demonstrar o papel dos espaços verdes e cinzentos da Escola Básica 2 e 3 Eugénio de Castro nas temperaturas encontrados no espaço escolar;
- Demonstrar as novas tecnologias de análise e modelação espacial;
- Comprovar a influência da junção de espaços verdes e cinzentos na construção do ideal de sustentabilidade;
- Potenciar a ideia de criação de *living labs* em espaços escolares.

### 1.3. METODOLOGIA

O presente estudo tem por base a identificação, caracterização térmica e análise dos espaços constituintes da Escola Básica de 2º e 3º ciclos Eugénio de Castro (Coimbra), desdobrando-se em duas partes: uma teórica e outra prática.

Na primeira parte da presente dissertação, é efetuada uma revisão de literatura e enquadramento do tema, através de artigos, dissertações, trabalhos académicos, livros e projetos de construção e planeamento urbano ao longo dos últimos cinco anos. Estes versam sobre a temática do desenvolvimento sustentável e mitigação das ondas de calor e da planificação de espaços verdes e cinzentos, assim como a sua relação na amenização das temperaturas/ sensação térmica, assim como literatura e sites de dados sobre potencial fotovoltaico e solar, assim como planos de mitigação da pegada carbónica. Ainda na primeira parte, procurou-se entender o desenvolvimento urbano assim como o impacto que poderá ter no dia-a-dia da comunidade escolar.

Na segunda parte do estudo, objetivou-se a análise e interpretação prática, foram utilizados *softwares* de visualização e modelação espacial, (ex. *Google Earth*) para recolha de imagens satélite, permitindo a visualização virtual em 3D da área de estudo, assim como da envolvente. Concomitantemente, recorreu-se ao *software* de Blender para desenvolver a imagem virtual e posteriormente um *software* de desenho e modelação – *Sketchup* - objetivando efetuar o design virtual da escola e da modelação do mesmo. Por forma a alcançar uma modelação do espaço, nomeadamente para o acrescento de árvores, novas tecnologias a colocar futuramente na escola, como é o caso dos PV. Para a introdução do fotovoltaico utiliza-se a ferramenta *Photovoltaic geographical information system (PVGIS)* para determinar a *performance* e desempenho destes, assim como a criação de novos espaços verdes na escola. A versão 23.0.418 do *Sketchup Pro* permite chegar a uma imagem virtual trabalhada e desta forma atingir um outro software de realidade aumentada para amplificar a visualização da imagem pretendida com a implementação dos temas abordados na presente dissertação, nomeadamente o *Twinmotion*, permitindo colocar maior pormenor na imagem virtual e interagir com os vários elementos que compõem a mesma, nomeadamente crescimento das árvores, estação do ano, incidência do sol nos edifícios e por conseguinte as zonas de sombras.

Posteriormente procedeu-se ao levantamento de dados de temperatura e de humidade, com dois percursos diferentes (um no interior do espaço escolar e outro no exterior) e uma vertente de verificação no interior das salas de aula. Os pontos de recolha de dados no exterior contabilizaram 11 e 30 no interior da escola, assim como em 5 espaços da escola, nomeadamente, três salas de aula, o polivalente e o pavilhão gimnodesportivo.

A recolha de dados de temperatura e humidade foram efetuadas através de um *data logger Tinytag Plus 2 - TGP-4500* e uma sonda externa. De referir que recolhas no exterior da escola foram feitas com um *data logger Tinytag Plus 2 - TGP-4500* mas com uma sonda externa apenas de temperatura, enquanto que no interior da escola e nas salas de aula o *data logger* utilizado detinha uma sonda de temperatura e humidade. Os dados foram recolhidos através de um percurso a pé, ficando imobilizado durante um minuto com a sonda do *data logger* sem exposição direta do sol e a 1,5 metros da superfície.

Após o percurso, utilizou-se a plataforma MyGeodata Converter para efetuar a conversão dos dados obtidos. Após a identificação de todos os pontos obtidos e coordenadas correspondentes, utilizou-se a média das temperaturas para todos os pontos, por forma a elaborar um mapa de temperaturas demonstrativa das variações térmicas, a desenvolver no ArcGis, cartografando e servindo de análise das mesmas.

## Capítulo II – Estado de Arte

O Relatório do Clube de Roma, em 1972, intitulado de “*Limites do Crescimento*” (Meadows e Meadows, 1972) elaborado por um grupo de jovens cientistas do Instituto de Tecnologia do Massachusetts, sob coordenação de Donella e Dennis Meadows, concluía que, mantendo o crescimento populacional observado à data, a par da produção alimentar, do uso dos recursos e da poluição, a capacidade do planeta se esgotaria nos cem anos seguintes. O resultado seria o colapso dos ecossistemas, a fome e a guerra (Meadows e Meadows, 1972; cfr. Baker, 2016). O rápido crescimento populacional, científico e tecnológico, deixou marcas sem precedentes ao nível ambiental, e por isso, tornava-se necessário defender o meio ambiente e prepará-lo para as gerações do presente e do futuro num objetivo conjugado entre todos, que procurasse salvaguardar a igualdade ambiental, económica e social, como referido na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (UNCHE, 1972).

### 2.1 O PROCESSO RELATIVO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em 1972, a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, decorrida em Estocolmo, na Suécia, assume a necessidade de haver linhas gerais para o desenvolvimento económico e preservação do Ambiente. O Princípio 13 da Declaração de Estocolmo refere que: “*Tendo por base alcançar uma gestão racional dos recursos e, assim, melhorar o ambiente, os Estados devem ter uma abordagem coordenada e integrada para o planeamento do desenvolvimento, de modo a garantir que o desenvolvimento seja compatível com a necessidade de proteger e melhorar o ambiente para o benefício da população*” (UNCHE, 1972; cfr. Atapattu, 2019).

Após uma década de construção e debate sobre a importância ambiental, nos anos 80 surge a Comissão Internacional para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, coordenada por Gro Harlem Brundtland, primeira-ministra norueguesa, iniciando aqui uma propositura internacional conjugada entre especialistas de várias áreas para a prerrogativa ambiental e para o desenvolvimento económico sustentável. A Comissão Brundtland apresenta um relatório, o designado “*Our Common Future*” (em português “*O Nosso Futuro Comum*”), no qual foi assumida a importância de garantir o desenvolvimento económico a par da proteção ambiental. Surgindo, pela primeira vez, uma definição amplamente consensual de desenvolvimento

sustentável, o qual foi aqui assumido como o “desenvolvimento que salvaguarda as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das necessidades das futuras gerações” (Brundtland, 1987, p. 41).

Temas como a população e os recursos, a segurança alimentar, as espécies e os ecossistemas, a energia, a indústria e o desafio urbano, foram matéria de suporte para a comissão que desmitifica o dilema entre as necessidades e o consumo humano (Brundtland, 1972), concebendo uma tríade entre as necessidades económicas, sociais e ambientais.

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que decorreu em 1992, no Rio de Janeiro, denota uma influência do Relatório “*Our Common Future*”, pela urgência de criar uma ação concertada entre os vários Estados e assim os componentes para atingir o desenvolvimento sustentável, colocando na agenda um conjunto de princípios, nomeadamente, o da equidade, o da utilização sustentável dos recursos naturais, o da integração e o direito ao desenvolvimento, como referido na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, 1992).

A conferência teve como resultado a tão proclamada “Declaração do Rio”, a qual consagrou 27 princípios universais que procuravam influenciar positivamente os Estados a apresentar medidas de cooperação, assumindo a implementação de medidas e instrumentos de desenvolvimento económico, garantindo a justiça social e a preservação dos recursos naturais para as futuras gerações (UNCED, 1992). A Declaração do Rio (1992) tornou-se um marco importante para a procura de uma maior sustentabilidade do planeta, desde logo, pela consagração do conceito de desenvolvimento sustentável, apresentando-se, segundo Lago, como um marco na “mudança de perceção perante a complexidade do tema” (Lago, 2006, p. 18).

Desde então, foram várias as nações que implementaram medidas legislativas de proteção e desenvolvimento sustentável, através de acordo multilaterais e bilaterais.

Com uma visão renovada, é no virar do século que se observam as maiores mudanças. Com a primeira década do século a verem consagradas, através da apresentação dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio, a ação concertada para o desenvolvimento sustentável até 2015.

Após a passagem de século decorreram duas importantes conferências. A primeira em 2002, na cidade de Joanesburgo, Africa do Sul, com a designação de Conferência de

Joanesburgo ou Rio+10 Nesta, confirmou-se a urgência da mudança de paradigma, proposta 10 anos antes, no Rio-92, observando-se significativas mudanças económicas, sociais e ambientais, com “ (...) muitos dos compromissos assumidos por governos no Rio (...) foram cumpridos graças ao empenho de comunidades e governos locais, empresas e organizações não-governamentais o que demonstrou que o (...) desenvolvimento sustentável pode ter um impacto direto sobre as populações” (Lago, 2006, p.93). E a segunda, designada de Rio + 20, realizada no Rio de Janeiro, em 2012, cujos temas se centraram na perspetiva da economia verde e da erradicação da pobreza e que se apoiou no “sucesso do desenvolvimento sustentável no meio empresarial, onde as empresas adotaram cada vez mais o meio ambiente como forma de obter lucros” (Oliveira, 2018).

No ano de 2015, a Assembleia Geral das Nações Unidas, aprovou por unanimidade, um documento que procura servir de guia para o futuro do planeta e das pessoas, procurando um equilíbrio entre a prosperidade humana e a proteção ambiental. Intitulado “Transformar o nosso mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, contemplando 17 ODS, como referiu Ban Ki Moon, à data o Secretário Geral das Nações Unidas, o qual preconiza um plano ambicioso, para “não deixar ninguém para trás”, como referido na *United Cities and Local Governments* (UCLG , 2017, p. 4), sendo o enquadramento para “guiar os esforços de todos em direção a um mundo socialmente mais justo, ambientalmente mais sustentável e economicamente mais equilibrado e desenvolvido” (UCLG, 2017, p. 4).

O ano de 2015 foi um marco para o desenvolvimento sustentável, destacando o Acordo de Paris sobre o Clima, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC, 2015), delimitando a prioridade de manter em até 2°C o Aquecimento Global abaixo da era pré-industrial (UCLG, 2017).

Neste quadro, o Acordo de Paris, consagrado em 2015, através da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, convida as Partes “a apresentar, até 2020, a estratégia de desenvolvimento a longo prazo com baixas emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE)”, (RNC2050, 2019, p.6) que Portugal desenvolve partindo das necessidades de combate às alterações climáticas e de adaptar o território nacional a estas. Neste contexto, “Portugal assumiu, em 2016, também o objetivo de neutralidade carbónica até ao final de 2050, denotando a aposta clara nas fontes renováveis e formas mais eficientes de descarbonização em todas as vertentes da sociedade”, como referido no Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050, 2019). O RNC, apresenta uma agenda para as várias décadas até 2050, sendo de denotar que

algumas das medidas incluem o encerramento das centrais a carvão até 2029, a capacidade da produção de energia a partir do sol, igualar a produção por via eólica até meados da década de 20-30. Para 30-40 as metas centram-se no duplicar da produção de energia a partir de fontes renováveis e a produção solar descentralizada ganhar expressão. A última década do roteiro pretende que a capacidade de produção solar de energia represente 50% do total de energia. O roteiro apresenta ainda um setor dedicado aos serviços, colocando metas como a energia solar representar cerca de 5% do total e que 46% da iluminação seja por via de lâmpadas Diodo Emissor de Luz (LED). No final do roteiro o objetivo é exponenciar este indicador para os 10% de energia por via solar e 84% da iluminação seja LED (RNC 2050, 2019).

Segundo o Relatório do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas, desde a época pré-industrial a temperatura média do planeta já subiu 1°C, tem ao longo das últimas décadas um incremento de 0,2°C por década. Perspetiva-se que depois de 2060, o aumento médio da temperatura global, possa atingir 2°C (IPCC, 2019)

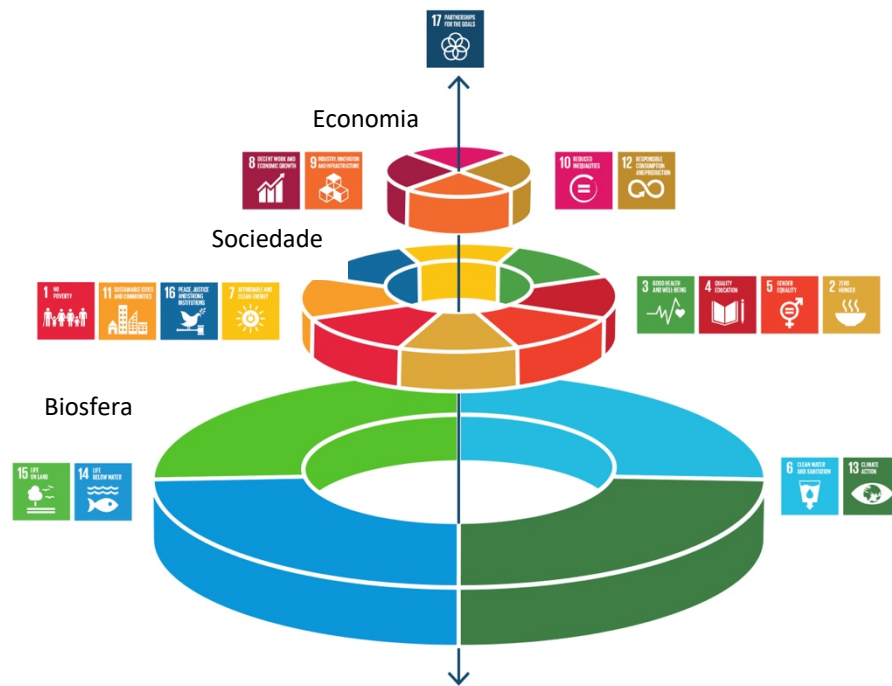
Como observamos, o conceito de desenvolvimento sustentável, as vertentes da sustentabilidade e a capacidade e forma de intervenção tem evoluído no seio dos mundos académico, científico e social e desta forma alertando a comunidade e a classe política para a preocupação a ter das alterações climáticas nas últimas décadas.

A prerrogativa de um futuro mais planeado e racional, como mencionava o Clube de Roma (1972) e a necessidade de salvaguardar as necessidades do presente e das futuras gerações Brundtland (1987), torna contínua a busca por um futuro cabalmente melhor e com uma visão de longo prazo para o combate às alterações climáticas e para a garantia da sustentabilidade.

Assim, a adoção da Agenda 2030 – Transformar o Nosso Mundo -, partindo de 17 ODS (Figura 1) é um marco essencial no pensamento estratégico mundial para a sustentabilidade e para o futuro do planeta. A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pelos Estados-Membros das Nações Unidas em 2015, fornece um plano partilhado para a paz e prosperidade das pessoas e do planeta. Com 17 ODS, estes, são um apelo urgente à ação de todos os países - desenvolvidos e em desenvolvimento - numa parceria global (ONU, 2015).

A adoção da Agenda 2030 e dos ODS procura acabar com a pobreza e todas as formas de privação, capacitando meios de saúde e educação e, assim reduzir as desigualdades, impulsionando o crescimento económico e – ao mesmo tempo – combatendo as alterações climáticas e garantido a preservação dos oceanos e florestas (ONU, 2015).

Estrategicamente ambiciosa, a Agenda 2030 alicerça-se na visão conjunta e conjugada de que o futuro do planeta apenas é possível com a contribuição de todos os Estados-Membro.



**Figura 1 - Representação dos ODS e da organização destes em biosfera, sociedade e economia. fonte: adaptado de Rockstrm e Sukhdev (2016)**

A presente dissertação aborda, especialmente, quatro destas ODS, nomeadamente:

- **Objetivo 4** – “Garantir o Acesso à Educação Inclusiva” que procura “até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável (...) e, entre outros, “construir e melhorar instalações físicas para educação”;

- **Objetivo 7** – “Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos” com a meta de “até 2030, assegurar o acesso universal, de confiança, moderno e a preços acessíveis aos serviços de energia” e “aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global”;

- **Objetivo 11** – “Cidades e Comunidades Sustentáveis” e cuja meta passa por “Tornar as cidades e as comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.”;



- Objetivo 13 – “Adotar medidas urgentes para combater as Alterações Climáticas e os seus impactos” com o objetivo de “reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados com o clima e as catástrofes naturais em todos os países” e “melhorar a educação, aumentar a consciencialização e a capacidade humana e institucional sobre medidas de mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce no que respeita às alterações climáticas” (ODS – BCDS Portugal).

No entanto, deve ser referido que a Agenda 2030 organiza-se em 5 princípios enquadradores, os chamados 5P’s - Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parcerias – os quais fornecem também uma base para organização dos ODS (UCLG, 2017)

Neste contexto, Portugal acompanhou o processo de desenvolvimento da tentativa de mitigação e adaptação às alterações climáticas que se deseja, adotando, logo em 2015, através da Resolução do Conselho de Ministros nº 56/2015, o Programa Nacional para Alterações Climáticas (PNAC 2020/2030), a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAC 2020), o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC) e mais recentemente através do Decreto Lei nº 98/2021 de 31 de dezembro - a Lei de Bases do Clima - que estabelece “as bases da política do clima nas suas diversas dimensões, como o reconhecimento da situação de emergência climáticas, a definição dos objetivos e princípios da política do clima ” (LNEG, 2022a, p. 1).

## **2.2. A REDE DE EQUIPAMENTOS ESCOLARES PORTUGUESA**

A escola pública observou várias reformas ao longo do tempo, desde o Marquês de Pombal, com a reforma pombalina (e mais tarde os ideais e a “reforma” liberal) até aos dias de hoje, adaptando-se às necessidades sociais e demográficas verificadas em cada época e espaço, desde logo, no Estado Novo observa-se um processo de construção de equipamentos escolares (Moniz e Cordeiro, 2019). Este processo evidenciou-se com particular destaque, primeiro através “Plano dos Liceus” e mais tarde através do “Plano dos Centenários”, através dos quais o Estado Novo desenvolveu toda uma estratégia de implementação de rede escolar, tendo em vista a passagem de “um sistema nacionalista e elitista para um processo de democratização e de educação em massas.” (Moniz e Cordeiro, 2019, p. 225), e na qual “estas mudanças políticas tiveram consequências óbvias nas práticas pedagógicas, mas também nos edifícios escolares e na rede de equipamentos dedicados ao ensino primário, secundário, técnico

e universitário.” (Moniz e Cordeiro, 2019, p. 225). Anteriormente, Moniz (2007) referia que os equipamentos escolares foram assumidos como “equipamentos-âncora”, encontrando-se associados aos novos programas de elaboração de novos planos de urbanização para as cidades portuguesas, aliás como se observou no caso de Coimbra.

O “Plano dos Centenários” implementado pelo Estado Novo na década de 40 é uma referência sobre os equipamentos coletivos, em particular, dos educativos. Tendo os planos posteriores de “organização (...) como ponto de partida este plano”, como refere A. Cordeiro (2014) O “Plano dos Centenários” (p. 424), e posteriormente, o “Novo Plano” (Cordeiro, 2014, p. 427), são bons “exemplos do modelo centralista de planeamento, expansão, construção e administração” e que torna “visível a forte expansão dos estabelecimentos de ensino a partir do início da década de 60, em que, “o atraso educacional” (Cordeiro, 2014, p. 427), face aos restantes países da Europa Ocidental, vê reforçado o debate e “o aumento do número de anos de escolarização obrigatória e o número de alunos integrados no sistema educativo português, que tem implicações num maior número de professores disponíveis no processo educativo” (Cordeiro, 2014, p. 427). A par disto, e devido a uma crise económica, e perante a necessidade emergente das premissas de desenvolvimento do sistema educativo português e consequente alfabetização, “a arquitetura escolar, socorreu-se de ideias de normalização e a projetos tipificados” (Santos *et al.*, 2021, p. 2), advindas da reconstrução da Europa no pós-II Guerra Mundial, e da necessidade de sistematizar soluções arquitetónicas por forma a facilitar a conceção e construção dos espaços escolares (Barrelas, 2012).

A democratização do ensino e “massificação escolar, exigiu, assim, soluções quase que imediatas, e também muito vultuosas viradas para o alargamento da rede no pré-escolar, do secundário e, em especial, do ensino preparatório, que correspondem ao atual 2º Ciclo de Educação Básica” (Cordeiro, 2014, p. 427). Perante este novo contexto, existiu a necessidade de ajustar o desenho e construção das escolas, procurando uma resposta célere às novas necessidades pedagógicas e do crescimento demográfico e urbano das cidades. Assim, o Ministério das Obras Públicas e o Ministério da Educação Nacional assinam com a OCDE, em 1963 um contrato cujo objetivo é desenvolver “um novo método de conceção de projetos direcionados para o controlo de custos, a criação de normas e prefabricação de elementos construtivos. A perspetiva de otimização de recursos conduz ao desenvolvimento de uma nova tipologia de organização espacial (Barrelas, 2012:Alegre, 2009), em que a resposta encontrada para as designadas escolas preparatórias foi a standardização e massificação, através de escolas pavilhonares, em blocos de 3x3.

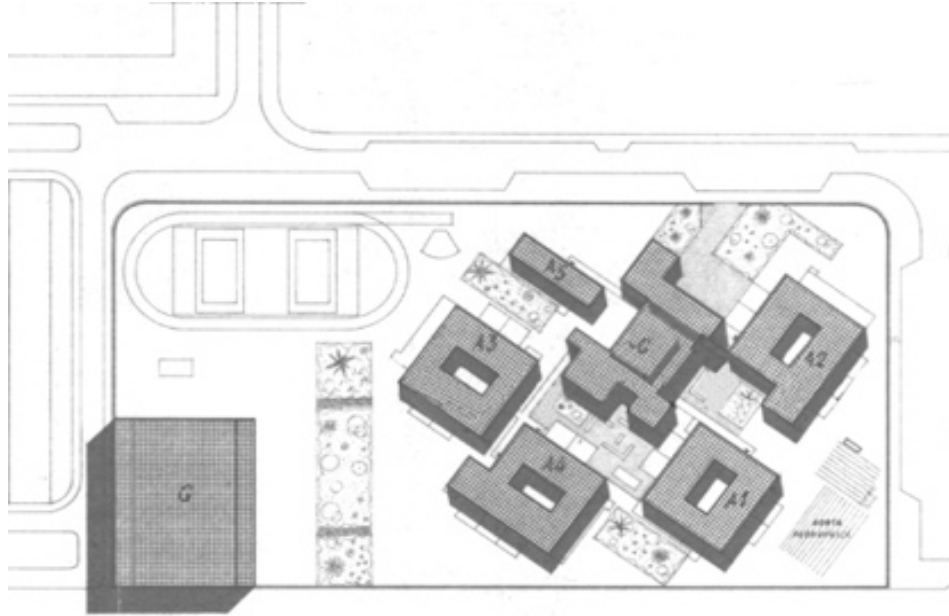
Assim, adota-se um projeto tipificado de forma pavilhonar, 3x3. Esta tipificação tem por base um edifício central, de forma cúbica e, tendencialmente, com um único piso e de uma biblioteca de forma retangular, a estes espaços podemos observar uma tendência para terem um pátio central, o pavilhão encontra-se isolado e com a denotada visão de espaço exterior e interior.

É, neste contexto, criado o Grupo de Trabalho sobre Construções Escolares, que identifica “padrões de mudança das tipologias de edifícios escolares” (Barrelas, 2012, p.13), com pontos similares em vários pontos da Europa. A Holanda, o ensino “conduziu a uma sistematização de um conjunto (...) de soluções tipificadas para a construção de escolas, tais como o “*corridor type*” e a “*hall type*”, cuja evolução conduziu à “*pavillion type*”, sendo uma das soluções utilizadas neste país (Steijns e Koutamanis, 2005; cfr. Barrelas, 2012).

Esta tentativa de “democratização” do ensino orientou, assim, a construção do edifício escolar reduzindo o programa e o seu desenho ao essencial para responder às práticas pedagógicas exigidas, perseguindo a eficácia também a partir da standardização e da massificação. Assim, e face às condicionantes económicas, a opção foi a utilização de elementos normalizados e pré-fabricados e que configuravam um edifício em forma de módulos como havia sido fundamentado nos planos normalizados, do Projeto normalizado para o Liceu-tipo, como referido por (Alegre *et al.*, 2010; cfr. Barrelas, 2020).

Assim, o projeto-tipo consistiu na construção de módulos pavilhonares sistematizados e com o mesmo padrão, procurou adaptar-se a terrenos, a contextos sociais, do clima e de culturas distintas (Cadima, 1988; cfr. Barrelas, 2020). Apesar disso, a abordagem sistematizada não atendeu às necessidades regionais dos materiais utilizados e as suas condições (Cadima, 1988; cfr. Barrelas, 2020). Por isso a quantidade superou a qualidade, e essa condição acentuou-se quando a esperança de vida média dos edifícios ultrapassou o período de vigência das reformas educativas, tornando-os obsoletos funcionalmente e fisicamente degradados (Santos *et al.*, 2021).

Neste contexto, “(...) os edifícios escolares de tipologia pavilhonar caracterizaram-se, essencialmente, por serem constituídos por um conjunto de pavilhões autónomos, que podem ser ligados entre si através de percursos exteriores cobertos” (Barrelas, 2020, p. 52) (figura 2) e por isso, “em cada projeto normalizado, existe um pavilhão letivo que é repetido um determinado número de vezes (Barrelas, 2020, p. 52) (Figura 2), tendo em conta as necessidades da comunidade e o valor monetário disponibilizado para a sua construção.



**Figura 2 - Projecto-tipo para a Escola Preparatória do Ensino Secundário: exemplo de planta geral (Alegre *et al.* 2010)**

Estes projetos tipificados apresentam escolas que, de acordo com Santos *et al.* (2021) “do ponto de vista da imagem, da qualidade de espaços e da sua relação com o exterior, representam edifícios de menor qualidade.” (p. 9). Assim, segundo Barrelas (2012) os edifícios do tipo pavilhonar apresentavam anomalias de vários tipos, nomeadamente, as fissuras e fraturas/elementos partidos, descoloração ou manchas, descasque ou escamação, assim como empolamento, que se demonstraram frequentes nas escolas analisadas pelo estudo.

Para Barrelas (2012) as causas prováveis para as anomalias eram “o escoamento de água associado a deficiências de drenagem e/ou ineficácia de pingadeiras (..) e a deficiente impermeabilização” (p. 137). O envelhecimento dos edifícios e a falta de manutenção “apesar de não se encontrar referido nos relatórios de peritagem, é expectável que influencie parcialmente o estado de degradação” (Barrelas, 2012, p.139) dos edifícios.

### **2.3. O PAPEL DO ARBÓREO COMO REGULADOR DO MICROCLIMA (NATURE-BASED SOLUTIONS)**

Como foi referido, a preocupação da construção de espaços escolares em determinados momentos do sistema educativo português prendia-se, no essencial, com a disponibilização de espaços letivos em momentos de aumento da escolaridade escolar e expansão urbana das cidades portuguesas. Na construção, estas escolas apresentavam-se como espaços “áridos”, de grande impermeabilização e caracterizados pela profusão de cimento, betão e betuminoso. Os espaços verdes, quando hoje observados, refletem a preocupação de uma direção de escola (ou professores) de oferecer os espaços escolares a um conforto bioclimático que nunca tinha sido equacionado na sua concepção.

Porém, parece concluir-se que são múltiplos os benefícios de saúde pública (Hartig *et al.*, 2014; Remme *et al.*, 2021; Van den Bosch e Sang, 2017) e de resiliência climática associada aos espaços verdes - e. g. árvores (Matthews e Byrne, 2015; Rutt e Gulsrud, 2016; Veerkamp *et al.*, 2021). Os estudos epidemiológicos indicam que os espaços verdes têm efeitos de suporte nas crianças e na saúde mental das mesmas (Vanaken e Danckaerts, 2018), assim como ao nível comportamental e de desenvolvimento cognitivo (Dadvand *et al.*, 2015) e performance académica (Kweon *et al.*, 2017).

Perante isto e atendendo ao facto de as crianças passarem grande parte do tempo diário nas escolas (Brons *et al.*, 2022), aparenta ser imperativo integrar um desenho orientado para a natureza nas escolas que providencie oportunidades para as crianças serem expostas ao contacto com os espaços verdes.

Os conceitos atualmente utilizados como parte do léxico da renaturalização urbana incluem a infraestrutura verde (designada GI, do inglês green infrastructure) e a adaptação baseada no ecossistema, em inglês, *Ecosystem-Based Adaptation. Nature-Based Solutions* (NBS), em português, soluções baseadas na natureza, é a mais recente adição (Nesshöver *et al.*, 2017).

Estes conceitos trazem a abordagem da renaturalização do espaço urbano, isto é, têm por base a construção urbana e paisagística integrando a natureza e protegendo os ecossistemas. Como referido por Dorst *et al.* (2019), as NBS são intervenções baseadas na natureza previstas

para enfrentar desafios de sustentabilidade, como a escassez de recursos, os riscos de inundações e calor e a degradação dos ecossistemas causada por processos de urbanização e alterações climáticas. A Comissão Europeia define NBS como "ações que são inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza" (European Commission. Directorate General for Research and Innovation., 2015, p. 5) com "o objetivo de ajudar as sociedades a enfrentar variados desafios ambientais, sociais e económicos de formas sustentáveis" ((European Commission. Directorate General for Research and Innovation., 2015, p. 5). Partindo destes princípios, considera-se as NBS o termo mais abrangente para um planeamento urbano promotor da renaturalização do espaço.

Como se vai observar, se não foi equacionado na fase de construção o arbóreo em espaços escolares, a novas orientações devem passar por um trabalho sério de minimizar as alterações climáticas em equipamento públicos, ou numa transformação dos existentes, ou na criação nesta nova fase de implementação de equipamentos públicos, deste tipo de preocupação. O ambiente educacional pode transformar mentalidades de milhares de cidadãos que na adultez têm de viver com alterações climáticas cada vez mais preocupantes.

Nesse sentido, e como descrito por Ornelas *et al.* (2023, p. 1), as árvores revelam diferenças significativas na distribuição térmica das áreas urbanas, importando por isso equacionar a configuração dos espaços verdes, de modo que se torne premente na mitigação dos efeitos das alterações climáticas. Assim, a valorização dos recursos naturais e dos espaços verdes e azuis como soluções baseadas na natureza (Pino *et al.*, 2020; cfr. Ornelas *et al.*, 2023) são sugeridas como as estratégias de mitigação mais promissoras devido ao seu papel na regulação térmica (Bowler *et al.*, 2010, cfr. Ornelas *et al.* 2023; Ro`tzer *et al.*, 2019), devido ao efeito das copas das árvores proporcionarem sombra, reduzindo a entrada de radiação ao nível do solo, particularmente no verão, quando as árvores de folha caduca se encontram com folha em climas temperados (Rahman *et al.*, 2020). Este efeito de amenização das temperaturas deve-se às copas das árvores, que através da evapotranspiração, podem arrefecer o ar à volta das árvores (Monteith e Unsworth, 1990; cfr. Rahman *et al.*, 2020) e, desta forma, criar uma fronteira de ar fresco, promovendo um importante serviço no ecossistema. Diversos estudos indicam impacto direto da evapotranspiração na diminuição da temperatura podendo variar entre 1 e os 8 °C (Georgi e Zafariadis, 2006; Rahman *et al.*, 2017; cfr. Rahman *et al.* 2020).

## 2.4. CIDADES INTELIGENTES SUSTENTÁVEIS (SUSTAINABLE SMART CITIES)

Projetar as cidades sustentáveis do futuro implica articular uma visão ampla e entender as cidades como sistema complexo e interligado com várias camadas, como a energia, a ecologia, as infraestruturas, os resíduos urbanos, a água, a habitabilidade, a mobilidade e as acessibilidades, a economia, a cultura, o desporto (Farr, 2014; Romero, 2007).

Como referido por Cordeiro (2022), os espaços urbanos sustentáveis têm por base fatores endógenos, como a hipsometria, litologia, exposições e declives), zonas de proteção especial, caso da Reservas Agrícola Nacional, da Reserva Ecológica Nacional, da Rede Natura e de sítios Ramsar, assim como de fatores exógenos, como é o caso dos fatores climáticos. A par destes, existem dois fatores de necessária contribuição para as cidades, nomeadamente, a hidrografia e os riscos naturais.

Por este princípio, e considerando ainda a descrição de Oke *et al.* (2017) sobre as várias camadas de uma cidade para a construção de um ecossistema urbano, que consagrava a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera, a pedo e litosfera e o ambiente contruído, observamos os espaços das cidades como sistemas vivos, em transformação e adaptação às várias componentes do espaço urbano (figura 3).

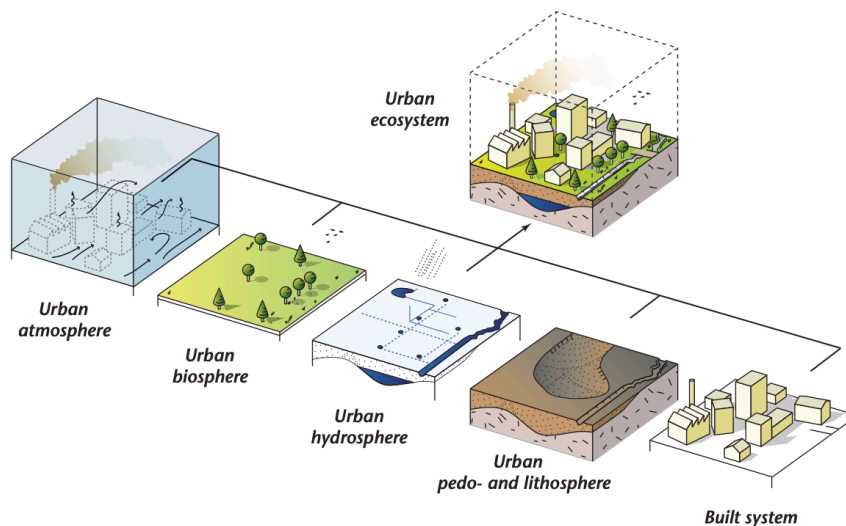


Figura 3 - Componentes físicas do ecossistema urbano. Fonte: Oke *et al.* (2017)

As cidades enfrentam cada vez mais desafios devido à rápida urbanização. Estima-se que, até 2050, 66% da população global viverá em cidades, o que irá aumentar a quantidade de

consumo nas cidades (UNEP, 2018). Como estimado na década anterior, as cidades consomem 75% dos recursos naturais globalmente disponíveis, tais como energia primária, matérias-primas, água e alimentos. Estima-se que este número aumente até 90 mil milhões de toneladas até 2050, em comparação com 40 mil milhões de toneladas em 2010 (UNEP, 2012).

Por seu turno, as *Smart Cities* respondem ao desenvolvimento económico, segundo Zheng *et al.* (2020), à otimização na utilização dos recursos, à qualidade e custo de vida e aos grandes desafios assumidos num futuro sustentável. De acordo com referido por Toli e Murtagh (2020) o conceito de *Smart City* apresenta múltiplas definições que variam com base em elementos de cada cidade. Para ser vista como inteligente, desde logo, as fontes de energia necessárias, as características, objetivos, propósito e o enquadramento em que se inserem. Assim, assumem que sendo um conceito extremamente alargado, varia no seu conteúdo, as formas de aplicação de desenvolvimento, e, por isso, as definições de *smart city* vão desde definições orientadas para a sustentabilidade com base na utilização de tecnologias de informação e comunicação que congreguem cidades inteligentes, conectadas e habitáveis. (Batty *et al.*, 2012; Chen, 2010).

Perante esta ligação intrínseca entre conectividade, inteligência e sustentabilidade, e segundo Palacin-Silva *et al.* (2018) (...) uma *Smart City* beneficia da participação ativa dos cidadãos e da utilização de Tecnologia de Informação e Comunicação para induzir o desenvolvimento sustentável. O autor refere ainda que uma abordagem inteligente de uma cidade implica uma rede de serviços de eficiência através de tecnologias digitais e de telecomunicações. Assim, uma *Smart City* pode ser encarada como um desenvolvimento urbano de inovação, visando o desenvolvimento sustentável e alta qualidade de vida dos seus cidadãos (Washburn *et al.*, 2009; Toppeta, 2010; Lim *et al.*, 2019;).

Apesar das várias dimensões conceptuais, a transição para *Smart Cities* é vista como uma forma essencial de alcançar o 11º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU de cidades inclusivas, seguras, resistentes e sustentáveis (ONU, 2018; Toli e Murtagh, 2020). Assim, para Barrionuevo *et al.* (2012) os recursos de uma *Smart City*, estruturam-se de forma inteligente, para conectar as pessoas à informação e criar uma alta qualidade de vida, por forma a garantir uma cidade sustentável, verde e inovadora. Para isso, torna-se necessário conjugar a ciência e as tecnologias inovadoras, capacitando a sociedade para melhor planear e projetar os espaços, nomeadamente através da ciência e da tecnologia, com particular ênfase na ciência de



dados, incrementando uma maior capacidade de planejar o progresso, gestão e melhorar a estratégia de desenvolvimento das cidades, procurando a sustentabilidade (Bibri, 2021).

Apesar da necessidade de aposta na inovação e na ciência de dados, as cidades sustentáveis são tão complexas e intangíveis que a noção do que o conceito significa é construída de várias maneiras dentro de diferentes disciplinas relacionadas com a cidade (por exemplo, engenharia, ciências sociais e computação). Consequentemente, existem múltiplas opiniões sobre como deve ser uma cidade sustentável e, portanto, várias formas de a conceber (Bibri, 2021). Ainda assim, de acordo com este autor, uma cidade sustentável procura potenciar a eficiência energética e o uso de materiais, minimizar a utilização de resíduos, apoiar a produção e consumo de energias renováveis, promover a neutralidade carbónica, reduzir a poluição, proporcionar eficiência, preservar os ecossistemas e espaço verde, e promover a habitabilidade e ambientes humanos orientados para a comunidade.

Depreende-se assim que para uma cidade ser sustentável e potenciar a utilização sustentável dos recursos é necessário entendê-la como um sistema complexo e que possa conjugar a visão de *Smart city* com a visão de *Sustainable City*. Segundo o estudo de Ahvennuemi *et al.* (2017) através da comparação dos dois conceitos de *Sustainable City* e *Smart City*, sugere que as cidades sustentáveis estão mais focadas em aspetos ambientais e sociais, ao passo que as *Smart Cities* dão mais destaque aos aspetos económicos e sociais de uma cidade.

O foco das *Smart City* é alcançar a sustentabilidade, coadjuvada pelas tecnologias da informação e comunicação, ao passo que o conceito de *Sustainable City*, integrando a visão de *Smart City*, dá especial atenção às questões ambientais, nomeadamente, a produção energética, a mitigação dos GEE, e o consumo de energia numa cidade. Estes mesmo autores sugerem ainda, que na revisão de literatura desenvolvida, as utilizações de indicadores para a energia são diminutas no conceito de *Smart City*, comparativamente ao de *Sustainable City* que encontram na energia a fonte principal de atingir a cidade sustentável e inteligente (Ahvennuemi *et al.*, 2017).

Existe ainda o conceito de *Eco-City* que se centra essencialmente na dimensão ambiental da sustentabilidade em termos do ambiente natural e dos ecossistemas do que nas dimensões económicas e sociais da sustentabilidade. Uma *Eco-City* baseia-se em três categorias analíticas: (1) uma de desenvolvimento numa determinada escala, (2), uma segunda conjugada em várias dimensões temáticas, (3) e ainda uma outra apoiada por processos políticos (Joss, 2011). Com base num estudo de caso recente, Bibri e Krogstie (2020) abordam as principais estratégias de

design e soluções tecnológicas da eco-cidade para alcançar os objetivos ambientais de sustentabilidade, nomeadamente:

- Tecnologias de ER
- Tecnologias de eficiência energética
- Gestão sustentável de resíduos
- Casas solares passivas
- Edifícios líquidos e de baixa energia
- Materiais sustentáveis

Partindo deste princípio, importa conceber o que torna uma cidade sustentável e quais os vários estratos que permitem desenvolver uma cidade, um bairro ou uma escola enquanto contribuinte para um sistema mais sustentável, verde e inovador.

Nesse contexto, o RNC 2050 constante da Resolução do Conselho de Ministros nº 107/2019 (2019), indica a necessidade de alteração profunda das formas de produção e consumo de energia, nomeadamente, através de fontes renováveis, endógenas e com foco na maior circularidade. Depreende-se, do mesmo, que a produção energética sofrerá uma transformação significativa, de base renovável e com particular ênfase na produção de energia eólica e fotovoltaica. O edificado é também base de análise neste RNC 2050, com a alteração da eletrificação das infraestruturas, promovendo ganhos eficientes de energia (RNC 2050, cfr. Batista, 2021). Como é possível observar no quadro 1, os setores da energia e dos transportes deverão verificar, até 2050, uma redução significativa dos GEE face a 2005, com uma tendência para a sua quase anulação, com 96% e 98% respetivamente. O contexto dos edifícios consagra uma redução progressiva as emissões de GEE, com cerca de metade da sua emissão até 2030, sendo que o objetivo até 2050 é a redução de 85% (Resolução do Conselho de Ministros 107/2019; cfr. Bastista (2021).

**Quadro 1 - Potencial de redução de emissões de GEE em relação ao ano de 2005 (fonte:  
Resolução do Conselho de Ministros n° 107/2019, 2019; cfr. Bastista (2021))**

Sectores	Anos		
	2030	2040	2050
Energia	80% 81%	92%	96%
Industria	48% 52%	59% 60%	72% 73%
Edifícios	48% 49%	73% 74%	85%
Transportes	43% 46%	84% 85%	98%
Agricultura e usos solo	36% 39%	37% 49%	38% 60%
Resíduos e Águas Residuais	57% 58%	69% 71%	77% 80%

## 2.5. MATRIZ ENERGÉTICA

As atividades humanas, nomeadamente as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão de combustíveis fósseis, conduziram a um crescimento substancial das concentrações de GEE desde a era pré-industrial. (IPCC, 2018). Fruto do alarmante ritmo de aquecimento do planeta Terra ao longo dos últimos séculos, com temperaturas médias a aumentar em cerca de 1,2 C. (IPCC, 2018), atentando à crescente necessidade de fornecimento de energia e às normas mais rigorosas para a qualidade ambiental, o acesso a energia acessível e limpa deve ser a principal questão dos ODS 7 (He, 2022).

Como referido por Patrão *et al.* (2020) estima-se que as cidades geram 80% do PIB mundial, apesar de cobrirem apenas 3% da Terra, mas contribuindo com 72% da produção mundial de GEE. Nesse mesmo sentido, no relatório da IRENA (2019), indica que o consumo energético das cidades representa 66% do consumo total ao nível global e que 70% dos gases com efeito de estufa estão relacionados com energia.

Segundo Pederson (2021), as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera provenientes da combustão de combustíveis fósseis e da indústria aumentaram 1750% com uma taxa anual média de 2,5%. No período de 1960-2017, é possível identificar 6 subperíodos que estão correlacionados com a oferta de energia primária global. Quando a oferta de energia primária global aumenta, o consumo aumenta, as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam (cerca de 80% das fontes primárias de energia são combustíveis fósseis)

A atual produção mundial de energia elétrica é dominada por combustíveis fósseis (ver Quadro 2.1.), algo que parece uma constatação nos tempos atuais, de ser insustentável a longo prazo. Além disso, a combustão de combustíveis fósseis é uma das principais causas da poluição atmosférica (Letcher, 2020).

**Quadro 2.1. - Produção de energia elétrica mundial, adaptado de Letcher (2020)**

Tipo de Energia	Produção de Energia Elétrica (%)
Petróleo	3,8
Carvão	40,2
Gás Natural	22,3
Nuclear	10,8
Fontes Renováveis (incluindo hidroelétrica)	23

O consumo total de energia ao nível global (Quadro 2.2.) apresenta um quadro semelhante à de produção de eletricidade com o domínio dos combustíveis fósseis.

**Quadro 2.2. - Consumo de energia elétrica mundial, adaptado de Letcher (2020)**

Tipo de Energia	Consumo de Energia Elétrica (%)
Crude	33,2
Carvão	26,2
Gás Natural	22,3
Nuclear	4,2
Fontes Renováveis (incluindo hidroelétrica)	14

Perante a necessidade de superar os conhecidos efeitos adversos das centrais de produção de energia convencionais (ou seja, carvão, petróleo e gás natural) no desenvolvimento da sustentabilidade, o mundo passou agora a utilizar estes recursos de forma mais planeada, em contra face com a instabilidade do mercado de combustíveis e, por conseguinte, do preço pago

pelo consumidor e das constantes alterações provocadas por fatores externos aos próprios mercados de energia, como é o exemplo da Guerra perpetuada pela Rússia em território ucraniano e que provocou a subida em várias semanas dos preços da energia em todo o mundo. A par disto, Guerra observada às portas da Europa, provocou uma crise inflacionista em todos os mercados mundiais, colocando como pano de fundo a necessidade de reduzir a dependência energética face ao exterior, com particular destaque para a Rússia.

### **2.5.1. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL**

Desta forma, a transformação do pensamento e dos meios de produção mudam o paradigma, concebendo a necessidade de produção de energia através de fontes de ER, como são bons exemplos a eólica, a solar fotovoltaica, a hidroelétrica, a geotérmica, a maré, a associada à biomassa, entre outras (Ediger, 2019). Apesar do supramencionado, grande parte da energia produzida, atualmente, a nível mundial, ainda provém de combustíveis fósseis.

Perante isto, como descrito por Al-Nory (2019) a integração das fontes de energia renováveis na rede elétrica proporciona uma oportunidade imensa para abordar muitas questões vitais relacionadas com a energia, incluindo as alterações climáticas e as emissões de gases com efeito de estufa, a dependência dos combustíveis fósseis, bem como a volatilidade dos preços da energia devido aos preços dos combustíveis altamente variáveis colocam o tema como central no quotidiano das populações.

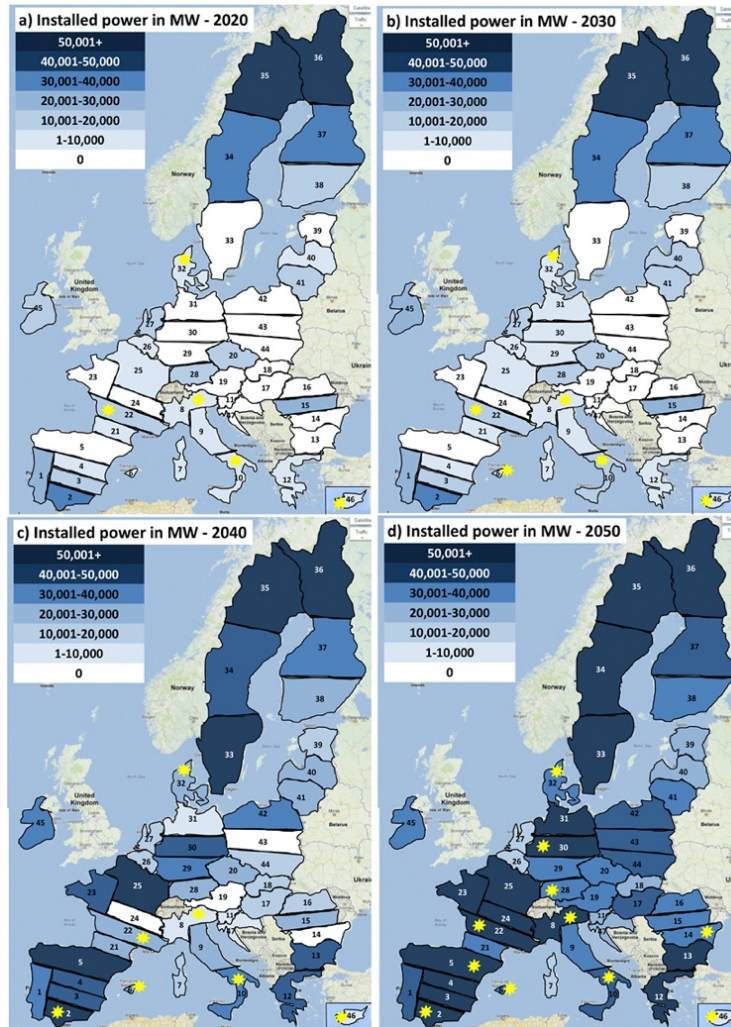
Reforça-se aqui a referência de que o principal foco do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 7 (ODS 7) é o da procura de garantir energia sustentável proveniente de fontes limpas e a preços acessíveis. Neste contexto, e segundo as previsões do relatório da Euroelectric (2019) estima-se que cerca de 264 milhões de cidadãos europeus se possam vir a juntar ao mercado da energia como produtores, gerando assim até 45% da rede elétrica. Espera-se que nos próximos anos venham a ser instaladas na União Europeia (EU) um grande número de turbinas eólicas e PV, também devido à diminuição esperada dos custos (Potrč *et al.*, 2021), tal como foi mencionado no relatório da IRENA (2020), em que de 2010 a 2019, o preço do kWh da energia elétrica baixou 82% nos PV, 47% nos sistemas de concentração de energia solar e 39% nos parques eólicos.

Potrč *et al.* (2021) preveem que em 2050, quando se assume que o consumo bruto de eletricidade aumentará, se encontrem já instalados 5.636 km<sup>2</sup> de painéis sendo perspectivado que 43% da ER possa provir de instalações fotovoltaicas. A também a rentabilidade dos PV deverá aumentar, principalmente devido à redução esperada dos custos de investimento. Para o caso de Portugal, é expectável que a energia eólica e solar deverá cobrir cerca de 75% da procura de eletricidade em 2050 (Potrč *et al.*, 2021).

A figura 4 como parecem demonstrar esses mesmos autores, a distribuição da produção de eletricidade renovável em toda a UE para os próximos 30 anos, poderá ser uma aposta eficaz de produção de ER a partir do fotovoltaico (Potrč *et al.*, 2021).

Assim, Potrč *et al.* (2021) consideram períodos de 10 anos, em quatro cartogramas, em que a) representa a atual produção de eletricidade otimizada das fontes de ER em toda a UE, b) para 2030, deve ser alcançada uma transição de 50%, c) para 2040, devendo ser alcançada uma percentagem de 75% das energias renováveis no consumo bruto de eletricidade, d) para 2050, devendo realizar-se uma transição completa no sector.

NOVOS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA: O papel da energia e das novas tecnologias na  
conceção dos espaços escolares do século XXI

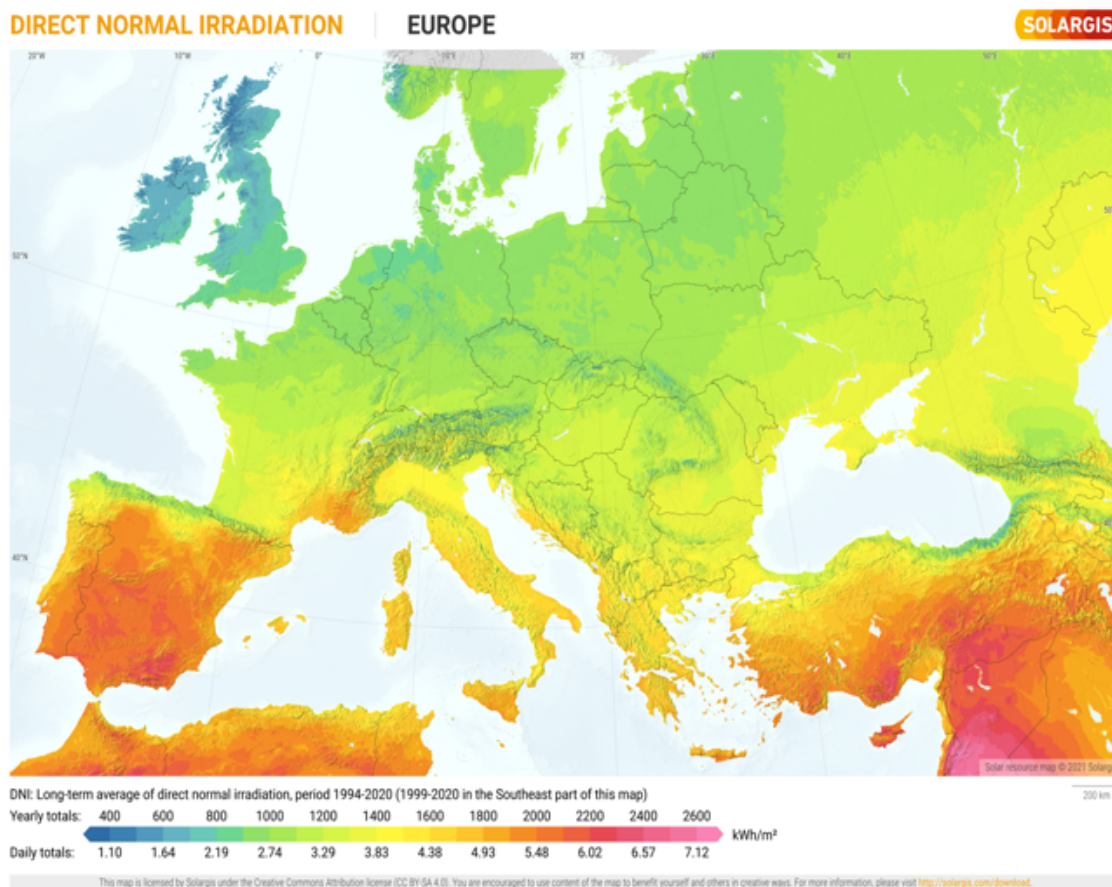


**Figura 4 - Distribuição da produção de eletricidade renovável na UE-27 para a) otimizada a atual quota de RES e para as quotas res previstas no ano b) ano 2030, c) ano 2040 e d) ano 2050. – Fonte: Potrč et al. (2021)**

De acordo com o Relatório da IRENA (2020), que remonta ao espaço temporal de 2010 a 2019, o preço do kWh da energia elétrica baixou 82% nos PV, 47% nos sistemas de concentração de energia solar e 39% nos parques eólicos. No final de 2015, a capacidade acumulada global de sistemas fotovoltaicos instalados ultrapassou os 227 gigawatts, e esta capacidade equivale a cerca de 280 centrais a carvão.

Neste contexto, o relatório *World Energy Transitions Outlook* examina as medidas necessárias até 2030 para fornecer soluções energéticas de curto prazo. Dar prioridade à eficiência energética e à eletrificação baseada nas energias renováveis parece ser a forma mais segura de conciliar múltiplas agendas.

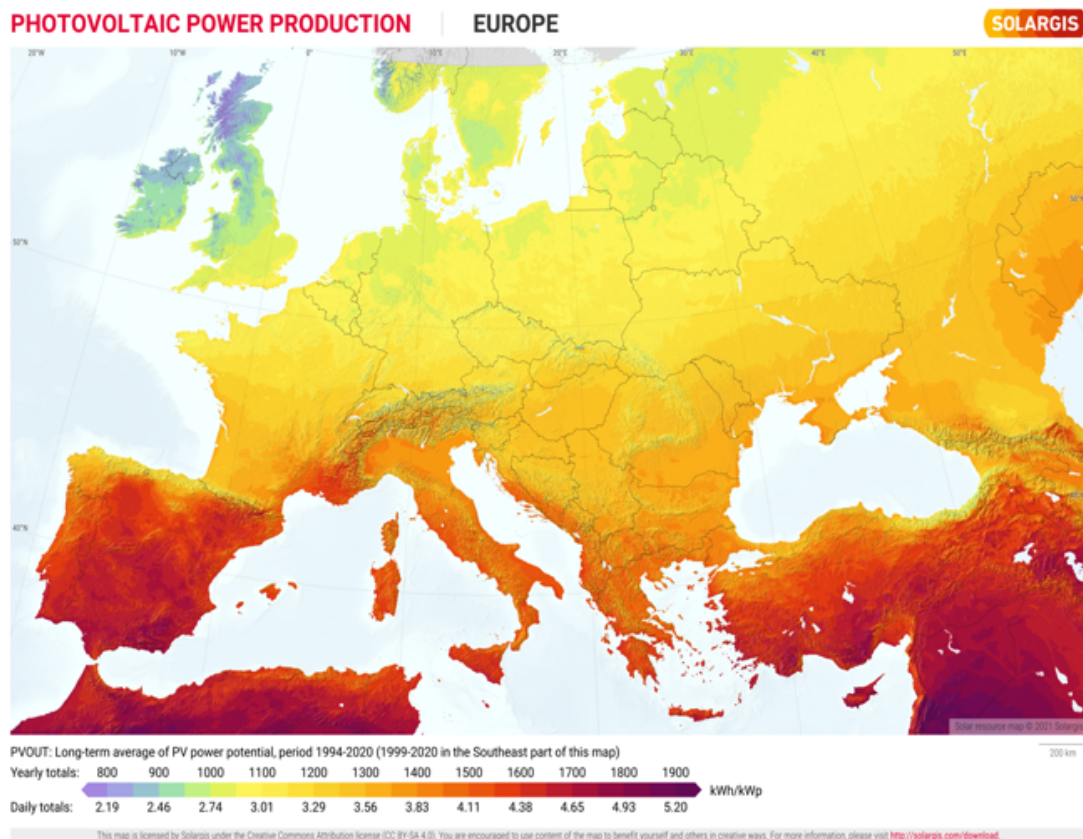
Assim, e sendo o Sol uma fonte inesgotável de luz e energia na escala de tempo, é razoável considerar-se que todas as outras formas de obtenção de energia são derivadas, de uma forma geral, pela energia irradiada por este corpo. Na Europa, Portugal é dos países com maior disponibilidade de radiação solar apresentando entre 2 200 e 3 000 horas de Sol anualmente e pode atingir na zona sul, valores de radiação na ordem dos 2300 kWh/m<sup>2</sup> (Comissão Europeia, 2012), como observável nas figuras 5 e 6. Assim, e como reflete a figura 5, a irradiação direta normal, indica que Portugal é dos países da Europa em que o kWh/m<sup>2</sup> é maior, com os valores a situarem-se entre os 1400 e os 2000 kWh/m<sup>2</sup>, anualmente, indiciando uma excelente exposição solar e, por isso, ser potencialmente, um país que aposta na produção de ER por via fotovoltaica.



**Figura 5 - Irradiação direta normal média, no período 1992-2020. Fonte: SolarGIS**



Como observável na figura 6, a península ibérica detém um enorme potencial de produção fotovoltaico, tendo valores entre os 1400 e os 1700 kWh, anualmente.



**Figura 6 - Potencial da produção PV média, para o período (1994-2020). Fonte: SolarGIS**

## 2.5.2. TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

O fotovoltaico é uma tecnologia para a produção direta de eletricidade a partir da luz solar. A maior parte do mercado mundial de PV é servido por células solares de silício cristalino (Reinders *et al.*, 2015). Como descrevem Ness *et al.* (2017), a luz solar é absorvida pela célula solar e a energia solar é convertida em energia elétrica com uma eficiência de conversão de 15-25%. A energia solar restante (75-85%) torna-se em calor. Este processo de conversão chama-se fotovoltaica (foto = luz | voltaica = tensão).

Os componentes básicos e principais de um sistema solar PV incluem a unidade fotovoltaica que captura a energia solar (célula), o módulo (conjunto de células), o inversor que converte a corrente contínua em corrente alternada e a cablagem adjacente. Outros equipamentos importantes podem fazer ou não parte do sistema como o sistema de suporte,

baterias, controladores de carga, contadores de energia, entre outros. A conversão direta da radiação solar em corrente elétrica é realizada nas células solares através do efeito fotovoltaico, que consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico através de radiação (Tralhão, 2012).

Na prática um painel fotovoltaico inicia a sua função após a incidência de luz solar nas células solares. A luz solar (composta por fótons), possuem energia que por sua vez cria tensão elétrica ao embater nos painéis. O impacto dos fótons nas células solares estimula o movimento dos elétrons presentes nos átomos de silício - movimento fotovoltaico - (EDP Comercial, 2020). Por forma a garantir que o movimento fotovoltaico se mantém contínuo e sempre para o mesmo lado, é necessário haver dois tipos diferentes de silício na mesma célula, de um lado uma estrutura de silício com elétrons a mais, do outro, uma estrutura com “lugares vagos” para elétrons. Ao receberem o impulso dos fótons, os elétrons deslocam-se da primeira para a segunda”. Criando assim corrente elétrica que pode ser utilizada como eletricidade (EDP Comercial, 2020).

Segundo Ness *et al.* (2017), cerca de 90% do mercado mundial de fotovoltaicos é constituído por células solares de silício (mono e policristalino). Este elemento traz vantagens variadas uma vez, ser abundante, o custo é moderado, não apresenta toxicidade, é altamente eficiente, tem estabilidade no desempenho do dispositivo, simplicidade (é um semicondutor mono-elementar), alto nível dureza, e apresenta já um alto nível de conhecimento.

Alguns sistemas PV são montados em estruturas de suporte fixas que são inclinadas por forma a defrontar o equador, com uma inclinação igual ao ângulo de latitude. Isto maximiza a produção anual de eletricidade. Os fabricantes normalmente garantem módulos PV por 25 anos, e em locais secos podem continuar a operar por 50 ou mais anos. (Ness *et al.*, 2017)

O mercado mundial de células solares é constituído, essencialmente, por 5 tipos. Sendo estes, células de Silício Cristalino (C-Si) – Policristalino e monocristalino, CIGS (copper Indium Gallium), Tclurcto de Cádmio (CdTc), Células de Silício amorfo (a-Si) e células de arseneto de Gálio (GaAs).

Segundo Tralhão (2012) e por Van Ness *et al.* (2017) as células solares de silício cristalino constituem mais de 90% do mercado mundial de células fotoelétricas e apresentam um rendimento de 15 a 21%. Já os CIGS (Copper Indium Gallium) representam 0,2% do

mercado de células fotoelétricas, sendo a eficiência de 18,8% para pequenas áreas e de 11,8% para grandes áreas. (Tralhão, 2012). As células solares compostas por Telurcto de Cádmio (CdTe) representam 1,1% do mercado e são constituídos por filmes finos de telureto e cádmio, altamente tóxico, logo pouco atrativas comercialmente. (Tralhão, 2012). Já as células de silício amorfo (a-Si) apresentam um rendimento de cerca de 7% e têm aproximadamente 3,7% do mercado de células fotoelétricas. (Tralhão, 2012). Por último, as células de arsenieto de Gálio, apesar de serem a tecnologia com maior eficiência, com rendimento de 28%, são extremamente caras pelo custo de fabricação, e por isso, comercialmente pouco atrativas, pelo que são essencialmente utilizadas para painéis solares de satélites artificiais (Tralhão, 2012).

Partindo do supramencionado, percebemos que a forma de produção fotovoltaica é efetuada de várias formas, pelo que os sistemas fotovoltaicos estão agora instalados em dezenas de milhões de telhados das cidades, e também em grandes centrais elétricas instaladas no solo (ou mesmo lençóis de água) e por isso a produção em massa está a causar rápidas descidas dos custos. Assim, a eletricidade produzida pelos fotovoltaicos é hoje mais barata do que a eletricidade a retalho nacional e comercial da rede (Breyer e Gerlach, 2013; IRENA, 2015). Segundo Van Ness *et al.* (2017), a energia solar tem muito a oferecer, desde que detenha bons recursos solares e baixa variabilidade sazonal. Assim, pequenas quantidades de eletricidade em PV podem fazer diferenças drásticas para os padrões de vida atuais.

Segundo o relatório da IEA (2021) desde o início do desenvolvimento do mercado de PV, mais de 767 GW de plantas PV foram instaladas ao nível mundial, das quais cerca de 70% foram instaladas nos últimos cinco anos.

### **2.5.3. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO**

Neste contexto, Portugal elaborou um conjunto de diretivas legais que procuram enquadrar a produção descentralizada de energia e o consumo da energia proveniente de fontes de energia renovável. Assim, o enquadramento legislativo português transpõe, parcialmente, a Diretiva Europeia 2018/2001, no que concerne ao futuro da produção energética descentralizada e do autoconsumo, através da “promoção de formas de energia renovável” é um dos objetivos da política energética da UE com “a maior utilização de energia de fontes renováveis desempenha um papel fundamental na promoção da segurança do aprovisionamento

energético, do abastecimento de energia sustentável a preços acessíveis, do desenvolvimento tecnológico e da inovação.” (Diretiva Europeia (EU) 2018/2021).

- Decreto-Lei n.162/2019, de 25 de outubro – enquadramento legal do autoconsumo e das comunidades de energia renovável
- Regulamento n.º 373/2021, de 5 de maio – Aprova o Regulamento do Auto-consumo de Energia Elétrica e revoga o Regulamento n.º 266/2020, de 20 de março

Esta é a base essencial para o desenvolvimento da produção energética descentralizada e parte da Diretiva Europeia 2018/2021. Em Portugal, a Diretiva supramencionada assumiu o corpo de Decreto-Lei 162/2019, de 25 de Outubro de 2019, introduzindo no regime jurídico português “a definição dos conceitos de autoconsumidores de energia renovável e de autoconsumidores de energia renovável que atuam coletivamente, bem como de comunidades de energia renovável” (Decreto-Lei 162/2019, p. 45).

O Decreto-Lei expressa “a ambição e a determinação de Portugal para estar na vanguarda da transição energética materializa-se em metas ambiciosas para 2030, que foram definidas no âmbito do Plano Nacional de Energia-Clima para o horizonte 2021-2030” (Decreto-Lei 162/2019) com o objetivo claro de atingir a quota de 80% de energia proveniente de fontes renováveis até 2026 (Um país mais verde, mais cedo, 2023). Assim, procura facilitar “a participação ativa na transição energética de empresas e de cidadãos interessados em investir, sem subsídios públicos, em recursos energéticos renováveis e distribuídos necessários à cobertura do respetivo consumo.” (Decreto-Lei 162/2019, p. 46)

Mais recentemente, o Decreto-Lei 15/2022 de 14 de Janeiro de 2022, “estabelece a organização e o funcionamento do Sistema Elétrico Nacional” (Decreto-Lei 15/2022, p. 6), que “em articulação com o os objetivos do RNC 2050” desenvolveu o PNEC 2030, procura “adaptar o regime jurídico do Sistema Elétrico Nacional (SEN) às necessidade e desafios colocados pelos referidos instrumentos estratégicos, que irão nortear a política energética do nosso País nos próximos anos” (Decreto-Lei 15/2022, p. 3). A par disto, estabelece também “as regras comuns (...) relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis” (Decreto-Lei 15/2022, p. 3).

O Decreto-lei 162/2019, definia autoconsumo como “o consumo assegurado por energia elétrica produzida por Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC) e realizado por

um ou mais autoconsumidores de energia renovável” (p. 47), e por isso, uma obrigação de constituição de uma UPAC para autoconsumir energia (...) consistindo em unidades de produção para autoconsumo em que a fonte primária é a energia renovável, cujo fim primordial é “a satisfação de necessidades próprias de abastecimento de energia elétrica” (Rochette, 2021).

Foram assim, criadas três figuras de autoconsumidores, o autoconsumidor individual, autoconsumidor coletivo e Comunidades de Energia Renovável. O autoconsumidor individual, serve um “consumidor final que produz energia renovável para consumo próprio, nas suas instalações (...) que pode armazenar ou vender eletricidade com origem renovável de produção própria, desde que para os autoconsumidores de energia renovável não domésticos, essas atividades não constituam a sua principal atividade comercial ou profissional” adaptado de (Rochette, 2021 cfr. Decreto-Lei 162/2019).

O autoconsumidor coletivo é definido como “um grupo de pelo menos dois autoconsumidores organizados (...), criando um regulamento interno para definir os critérios de liberdade de entrada e saída no autoconsumo, as regras de partilha de energia e do pagamento de tarifas, o destino do excedente e as relações comerciais”. (Rochette, 2021).

E, por último, as Comunidade de Energia Renovável (CER), “consistem numa pessoa coletiva constituída propositadamente no âmbito do Decreto-Lei 162/2019, com o objetivo principal de proporcionar benefícios ambientais, económicos e sociais aos seus membros ou às localidades onde estes e a própria CER operam”

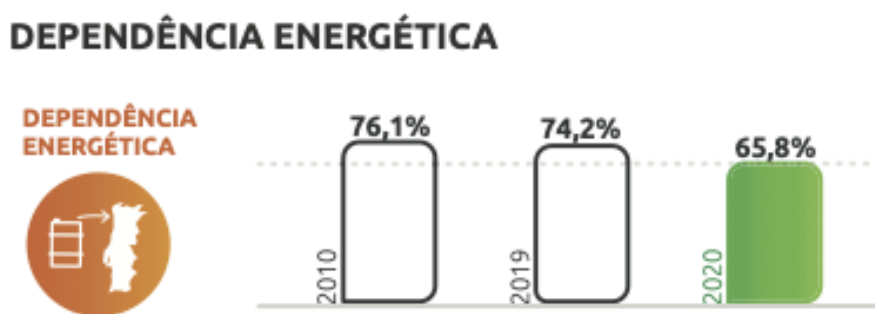
As CER deverão estar instaladas “nas proximidades dos seus membros ou das atividades que estes desenvolvam” sendo-lhe permitido “produzir, consumir, armazenar energia renovável para partilha no seu seio ou ser vendida, assim como aceder a todos os mercados de energia adequados, tanto diretamente como através de agregação.” (Rochette, 2021)

#### 2.5.4. DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE PORTUGAL

Um dos principais objetivos da política energética nacional é a redução da dependência energética face ao exterior, estando estabelecido no Plano Nacional Energia Clima (PNEC) o valor de 65% em 2030 (Direção Geral da Energia e Geologia [DGEG]. 2022)., e segundo a IRENA (s.d.), Portugal, nos anos 2000, através das fontes de produção renovável de energia gerava aproximadamente treze mil Gigawatts (GWh), com ênfase na produção hidroelétrica (11323 GWh), seguindo-se a Bioenergia (1296 GWh), a eólica (168 GWh) e a geotermal (80 GWh).

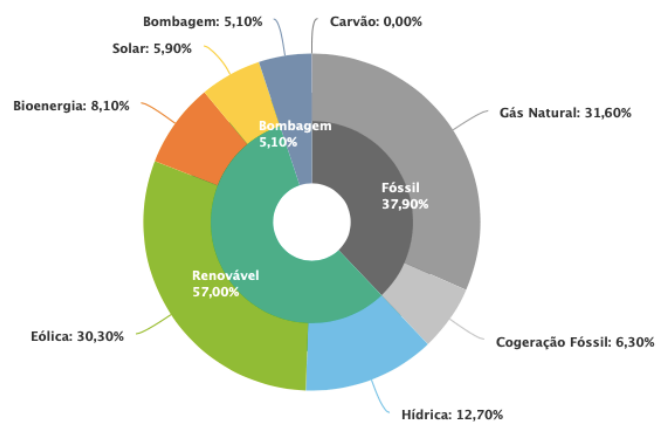
A partir destas fontes e tomando por princípio de que esta produção energética compensava a utilização da energia proveniente de fontes fósseis, Portugal evitou cerca de 10,25 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Deve ser refletido o facto de em 2021, “o preço médio das importações do petróleo bruto foi de 248,38€/t, mais 41,3% em relação a 2020 e o preço médio do gás natural foi de 25,63€/MWh, mais 71,2% face a 2020.” (DGEG, 2022, p.65). Neste mesmo ano “Portugal importou aproximadamente 8917 GWh de energia elétrica no valor total de 1,1 mil milhões de euros, mais 39,4% (em quantidade) e mais 427% (em valor) em relação a 2020.” (DGEG, 2022, p.65).



**Figura 7 - Dependência energética de Portugal em relação ao estrangeiro.**  
Fonte: DGEG, 2022, p. 17

Nos primeiros 4 meses do ano de 2022, a incorporação de energia renováveis correspondeu 59,44% da geração total de energia em Portugal Continental. Destaque para a energia eólica, com mais de metade da produção renovável de energia efetuada entre Janeiro e Abril de 2022. Destaque ainda para a hidroelétrica, que vinha há largas décadas a ser o maior produtor energético através de fontes renováveis de Portugal. Apesar disso, e como referido pela DGEG (2020) o impacto negativo da seca nos anos de 2012 a 2017 na produção de eletricidade e a seca de 2019 e 2020 agravaram a condição de produção hidroelétrica. (DGEG, 2022).



**Figura 8 - Representação das fontes energéticas utilizadas para produção.**  
**Fonte: DGEG, 2022**

Como referido no relatório da DGEG (2022, p. 74) “a potência instalada que mais tem crescido nos últimos anos é a fotovoltaica – 1647 MW em 2022, mais 53% face a 2020 e 9 vezes superior á instalada em 2011.

#### **2.5.4. FORMAS DE PRODUÇÃO**

A importância da descarbonização e incorporação de ER é matéria latente há várias décadas, mas com particular ênfase após a aprovação dos Objetivos de Desenvolvimento das ODS (2015).

O presente capítulo procura rever a bibliografia sobre as formas de produção de ER com particular ênfase nos três conceitos dos mesmos, nomeadamente, autoconsumo individual, autoconsumo coletivo e de comunidades de ER.

Numa primeira fase procura-se desenvolver o enquadramento legislativo Europeu e português e, à posteriori, uma segunda secção sobre a descrição relacional necessária entre as partes para a constituição de uma CER.

Para Vânia Carvalho, “às cidades enquanto palco principal das relações humanas, das atividades económicas que nela se desenvolvem e, conseqüentemente, das principais perturbações antrópicas induzidas no suporte biogeofísico caberá o papel de protagonista” nomeadamente, “na criação de medidas de adaptação que contribuam para a minimização das vulnerabilidades percebidas, como também na definição de medidas de mitigação que possam conter os efeitos nefastos gerados” (Carvalho, 2006, p. 35).

Neste seguimento, importa analisar que “cerca de 40% do consumo de energia na Europa está relacionado com os gastos em edifícios”, assim, “e por existirem soluções que minimizam estes desperdícios, o setor da construção tem evoluído” procurando “adotar e favorecer medidas que minimizem os seus gastos energéticos e os impactos ambientais” bem como promover um urbanismo sustentável” (Lanham *et al.*, 2004, p. 8).

Assim, como referem Gonçalves e Graça (2004) “um dos objetivos finais da concepção de edifícios bioclimáticos é a obtenção natural das condições de conforto dos seus utilizadores, que variam em função do clima, do edifício em termos construtivos e também do tipo de utilização” (p. 10). “As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar” (Gonçalves e Graça, 2004, p. 4). “A radiação solar tem um papel determinante no conforto térmico em qualquer edifício, sendo que no Inverno constitui uma fonte de calor muito importante, contribuindo com o aumento da temperatura interior” e vice-versa no Verão. Assim, “o Sol, é, pois, uma fonte de calor que importa compreender na sua interação com os edifícios, quer em termos energéticos (valores de radiação solar), bem como em termos da sua posição, ao longo do ano” (Gonçalves e Graça, 2004, p. 4)

Este contexto das cidades, e numa escala menor dos espaços escolares, configura uma importante análise, pois, pese embora haja um vasto leque de diagnóstico sobre as alterações climáticas e os passos necessários para atingir o desenvolvimento sustentável como verificado pelas políticas nacionais e internacionais, entende-se também que ainda muitos passos são necessários. O crescimento repentino e a necessidade de alargamento da rede escolar parecem ter imperado — sem analisar os contextos geográficos e dos próprios materiais para a sua



construção —, levando a fraca capacidade de impermeabilização e isolamento dos edifícios, aumentando assim o consumo energético.

Em suma, o desenvolvimento sustentável observou, desde os anos 60 e 70 um crescimento científico e político significativo. As premissas de um desenvolvimento do planeta sustentado e de crescimento, movimentou esforços para a consagração de uma agenda global, com metas delineadas até ao final da década 2030. Assim, a agenda 2030 da ONU, trouxe novos paradigmas ao nível global, mas também ao nível local, com particular destaque para as cidades, com o tema essencial a desenvolver-se em redor da utilização de recursos e poluição decorrente dos mesmos. Num contexto em que os equipamentos escolares são fundamentais no seio das cidades, importou verificar o seu desenvolvimento construtivo, muitas vezes deficitário em termos de materiais e conceções, e com as novas características que hoje, mais desenvolvidas e com benefícios vinculados para o ser humano, deverão ser idealizadas para as novas remodelações e renovações, mas também na forma como se foram adaptando ao crescimento da malha urbana, tópico que se irá desenvolver no próximo capítulo.

Assim, e partindo das premissas de um desenvolvimento mais racional na utilização dos recursos, com particular destaque para a energia e tendo em vista a construção/conceção de uma cidade inteligente e sustentável, verificou-se as tecnologias com potencial para a produção descentralizada de energia. A adoção do papel fulcral da energia fotovoltaica nesta dissertação, procura alertar para as perspetivas do presente e futuro, tendo por base o potencial fotovoltaico e as condições climáticas que podemos observar em Portugal.

Perante isto, a análise do enquadramento legal que deriva das missivas da ONU - Agenda 2030- e das instituições europeias para os países-membros, neste caso para a legislação portuguesa, são fundamentais para o desenvolvimento da produção descentralizada e desta forma para a redução dos custos dos edifícios no que à fatura energética diz respeito.

## Capítulo III – APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 3. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO-GEOGRÁFICO

O objeto de estudo desta dissertação localiza-se em Coimbra, mais especificamente na freguesia de Santo António dos Olivais, esta que é a freguesia mais populosa do município, decorrente do forte crescimento urbano da malha urbana na 2ª metade do século XX. O forte investimento iniciado, com particular destaque a partir do final dos anos 40, em função do “Plano de Embelezamento da Extensão de Coimbra” desenvolvido pelo urbanista belga Étienne De Gröer, e do qual o Liceu D. Maria se assumiu como uma peça fulcral no crescimento deste amplo setor – um dos equipamentos-âncora na altura edificados – e que promoveu um maior investimento na ampliação da área urbana. Após a construção deste espaço escolar, observou-se a construção de um conjunto de infraestruturas habitacionais, desportivas e escolares, dando resposta ao crescimento demográfico do concelho e à deficitária oferta nesta área do concelho.

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE COIMBRA

O concelho de Coimbra situa-se no Centro Litoral de Portugal, com a latitude de 40°12’ norte e uma longitude de 08°25’ oeste (Marques *et al.*, 2008) e ocupa uma área de, aproximadamente, 320 km<sup>2</sup> (Figura 9). O concelho de Coimbra, é composto por 18 freguesias e uniões de freguesias, de entre as quais, duas são consideradas como urbanas (União de Freguesias de Coimbra e Santo António dos Olivais) e as restantes periurbanas ou rurais. O município é atravessado pelo rio Mondego, que na parte oriental apresenta um vale estreito, profundo e encaixado e a partir da cidade de Coimbra, que se encontra na parte ocidental, o vale abre, revelando uma planície aluvial bem desenvolvida que se formou durante o período holocénico (Cunha e Dimuccio, 2018).

Do ponto de vista geológico (e morfológico), a superfície do território encontra-se distribuída “entre duas unidades morfo-estruturais: a orla meso-cenozóica Ocidental e o Maciço Hespérico” (Marques *et al.*, 2008, p. 313) e tendo como elemento fundamental a ação modeladora do rio Mondego (Marques *et al.*, 2008). O setor oriental é marcado pelo Maciço Marginal de Coimbra – definido fundamentalmente nos metassedimentos do soco e com altitudes que podem ultrapassar os 500 metros – enquanto que os setores central e ocidental são

modelados em materiais sedimentares calcomargosos ou calco dolomíticas e arenitos ou arenoconglomeráticas e pelíticas, com cotas maioritariamente a baixo dos 200 metros, com declives médios a fracos, que ofereceram condições propícias para o desenvolvimento de colinas e pequenos relevos que dominam o plaino aluvial do Mondego (Dimuccio, 2014, cfr. Cunha e Dimuccio, 2018; Dimuccio *et al.*, 2016; Soares *et al.*, 2007; Soares *et al.*, 2005; Soares *et al.*, 1985).

Em termos populacionais e segundo os Censos 2021 habitam no concelho 140 816 pessoas, correspondente a 16 520 entre os 0-14 anos, 88 762 têm entre 14-64 anos e 35 534 têm 65 ou mais anos, realçando que a faixa etária dos 10 aos 19 anos corresponde a 12290 jovens. A freguesia mais populosa é a de Santo António dos Olivais com 41 107 habitantes.

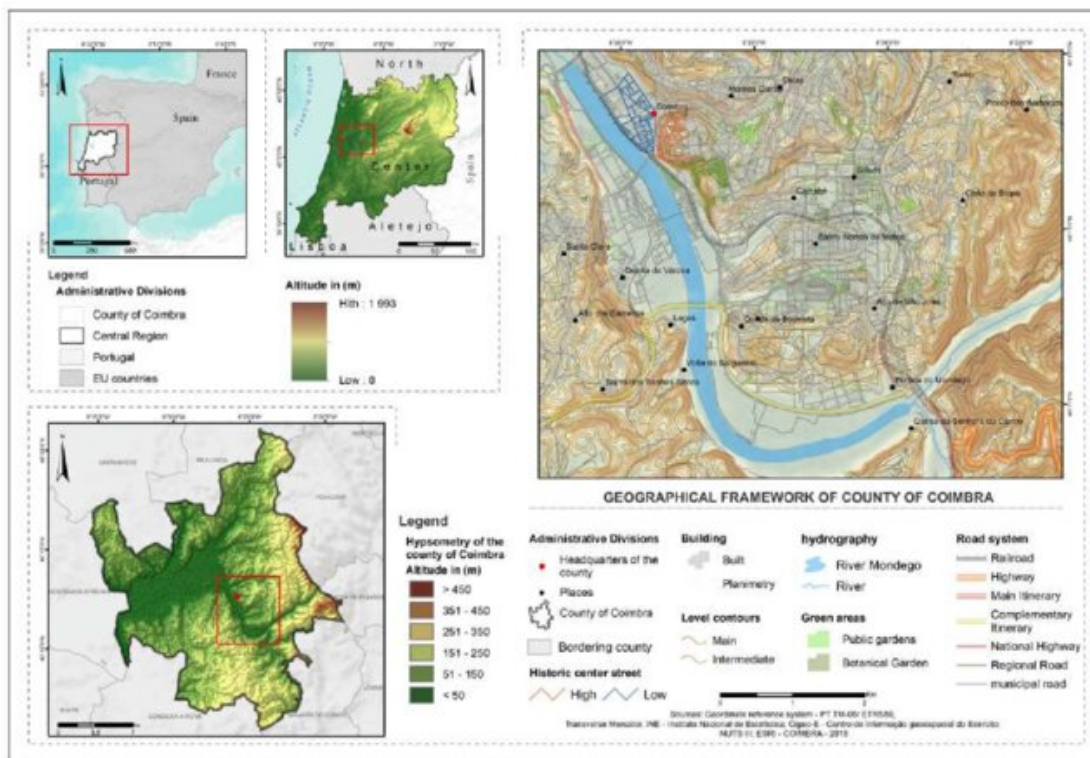


Figura 9 - Enquadramento geográfico da cidade de Coimbra. Fonte: Cordeiro, 2021, p. 7.

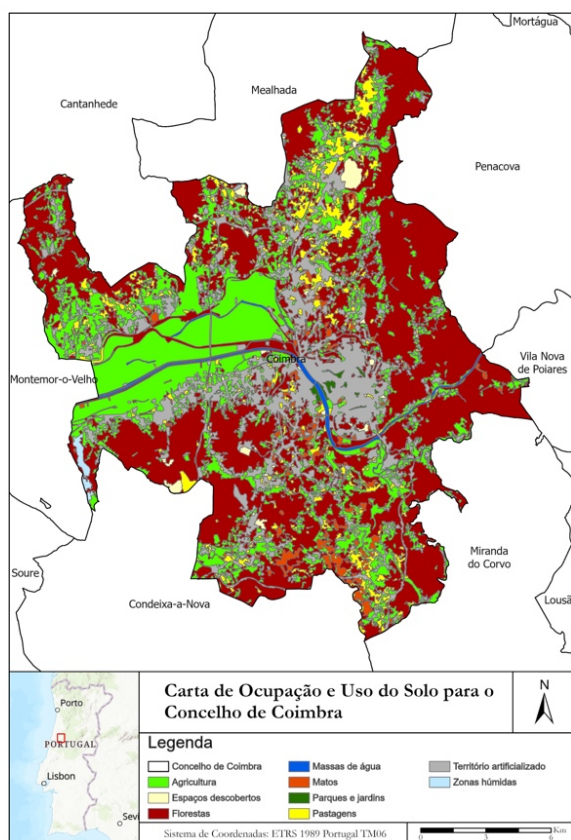
### 3.2. - CLIMA

Coimbra apresenta características climáticas “mediterrânicas, com os verões quentes, e os invernos suaves e chuvosas, em que as chuvas se registam com maior frequência no decorrer dos meses correspondentes ao outono, inverno e início da primavera” (Loureiro *et al.*, 2017, p. 114). Coimbra corresponde, por isso, em termos macroclimáticos a um domínio mediterrâneo, integrando a região climática de influência atlântica, pela proximidade relativa ao oceano atlântico e modificado localmente, pela proximidade do Maciço Marginal de Coimbra a Este, pelo rio Mondego e pelo plaino aluvial e a própria morfologia urbana.

Em termos de variação anual de temperaturas (1971-2015), observa-se uma média anual de 15,1°C, com um registo de temperaturas máximas entre os 20°C e os 25°C, e temperaturas mínimas de 10°C até 1987 e subindo ligeiramente até aos 13°C no passado recente (Loureiro *et al.*, 2017). Em termos de insolação, segundo Ganho (2008), a média é de cerca de 4 horas diárias nos meses de inverno, e de aproximadamente 10 horas, no verão, sendo a média anual de 7 horas por dia (Ganho, 1998,). Já de acordo com Loureiro *et al.* (2017), a média de horas de insolação de 1971 a 2000, era de 8 horas, com os meses de junho a agosto a observarem maior número de horas de insolação. Os meses de verão, com especial destaque para julho e agosto apresentavam uma média entre 9,6 para julho e 9,4 para agosto, e no mês de junho de 8,6 horas por dia.

### 3.3. OCUPAÇÃO DO SOLO

O concelho de Coimbra caracteriza-se por uma ocupação do solo diversificada, desde logo pelas características geomorfológicas supramencionadas, mas também pela malha urbana se evidenciar em redor do núcleo central da cidade de Coimbra, nomeadamente, da Universidade e Alta Sofia e, posteriormente, observar o seu crescimento para as freguesias de Santo António dos Olivais e Santa Clara, tópico a abordar de seguida. Denota-se ainda uma clara malha urbana e a ramificação desta para norte e oeste do núcleo central do concelho. A paisagem do Maciço Marginal observa uma ocupação essencialmente florestal, com pequenas aldeias e pequenas clareiras agrícolas, enquanto a planície aluvial do Mondego, é retalhada em campos de milho e de arroz, denotando a fertilidade dos terrenos, decorrente do rio Mondego e da planície, sendo essencialmente caracterizada por ser uma área agrícola (Figura 10).



**Figura 10 - Carta de ocupação e uso do solo para o concelho de Coimbra.**  
Fonte: própria

### 3.4. - CRESCIMENTO URBANO

O crescimento acelerado da urbanização implicou o crescimento das cidades e da malha urbana destas. Até o final do século 19, o crescimento da cidade estava intimamente ligado à "Alta" na colina, e a "Baixa" na planície, interrompida em 1537 pela expansão norte da Rua de Sofia. D. João III de Portugal decidiu aí criar os colégios universitários, mantendo uma estrutura urbana confinada (Rossas, 2001, cfr. Cordeiro, 2021). Durante este século, a cidade cresceu à sombra da colina dominada pela antiga universidade (e o importante papel do rio nessa relação) e com as transformações associadas à linha férrea recém-instalada, a cidade neste ponto lentamente se voltou para o norte e nordeste (Cordeiro, 2021). No final deste século (entre 1888 e 1892), o Bairro de Santa Cruz foi reestruturado, e ao longo do término de uma ribeira – a "Ribela", que desce dos níveis dos Olivais e forma a fronteira norte do monte da Cidade Alta (figura 11, A) – foram construídas as atuais avenidas Sá da Bandeira e praça da República e preservado o jardim de Santa Cruz (Cordeiro, 2021). A cidade cresceu e foi reestruturada em torno da colina onde fica a universidade (Dias, 2015, cfr. Cordeiro, 2021; Lobo, 2000; Santana, 1996).

A instalação de diferentes linhas de elétricos, especialmente no terreno nivelado de arenito consolidado e calcário possibilitou a existência de conexões com os novos bairros periféricos (figura 11, C). Houve um crescente desenvolvimento urbano em antigos territórios rurais durante este tempo: Cumeada, Montes Claros, Conchada, Calhabé (este último na área sudeste do centro antigo da cidade) e Tovim, aumentando assim a população da cidade (Cordeiro, 2021).

A par disto, a cidade assistiu ao crescimento urbano, no início século XX, impulsionado pelo desenvolvimento da construção civil, associado ao progresso socioeconómico e ao aumento da população da urbe.” (Ferreira, 2007, p. 69). Como também refere Ferreira (2007) “a cidade começou gradualmente a crescer ao longo da Estrada da Beira. Foi um surto construtivo, que se estendia na direção da Portela” (p. 69). Observa-se a construção dos Bairros da Arregaça, Santa Cruz e Montes Claros, estes em torno do núcleo central da cidade, mas é a cidade universitária que contribui significativamente para o agravamento da problemática da carência habitacional, então situado na alta da cidade, mas que com o crescimento da universidade e da edificação decorrente do plano de De Gröer, observa um deslocamento em

massa de pessoas para os bairros de Celas, Arregaça, Montes Claros e Santa Cruz (Rosmaninho, 2001, cfr. Ferreira, 2007).

Relativamente à expansão urbana que se encontra associada à escola em análise, o bairro da “Solum foi mais um testemunho da expansão sudeste da cidade, nas décadas de 60 e 70” (Ferreira, 2007, p. 82) numa altura em que “Coimbra enfrentava problemas de habitação e circulação, assistindo-se a uma ocupação territorial cada vez maior, extravasando os limites territoriais da cidade oitocentista e assumindo a necessidade da expansão para outras zonas periféricas do núcleo urbano. Assim, “o projeto urbano da Solum desenvolveu-se a dois níveis: o primeiro sob influencia dos princípios urbanísticos do Estado Novo, do qual se construiu o Liceu Feminino D. Maria<sup>1</sup>, o Estádio Municipal, a Igreja, a Escola do Magistério Primário e a Escola Industrial e Comercial Avelar Brotero” – os quais devem ser considerados como equipamentos-âncora; o segundo, sob investimento privado, apresentou um programa urbano habitacional, caracterizado por uma estrutura viária parcelar, blocos de habitação coletiva em altura, pouca densidade e maiores áreas livres.” (Ferreira, 2007, p.82), e que iniciou um crescimento urbano que motivou, isto em função da ampliação da escolaridade obrigatória, à instalação, em 1972, da Escola Básica Eugénio de Castro - o nosso objeto de estudo - no setor norte deste complexo habitacional.

O exponencial crescimento urbano e crescente aumento demográfico neste setor da cidade de Coimbra, isto nos anos 60 e 70 do século XX, fizeram os espaços escolares escassear na resposta infraestrutural educativa, tendo sido, neste contexto, construída, já nos anos 70, a Escola Básica Eugénio de Castro, junto a uma das áreas de maior crescimento demográfico e zona renovada da cidade de Coimbra, a Solum (figura 11, C).

---

<sup>1</sup> A Escola Infanta Dona Maria, foi, como referido uma infraestrutura âncora, sendo em 1 de Outubro de 1948 instalado o edifício na Rua Infanta D. Maria, ao tempo uma zona praticamente deserta (ESIDM, s.d.).

NOVOS CAMINHOS PARA A SUSTENTABILIDADE URBANA: O papel da energia e das novas tecnologias na conceção dos espaços escolares do século XXI

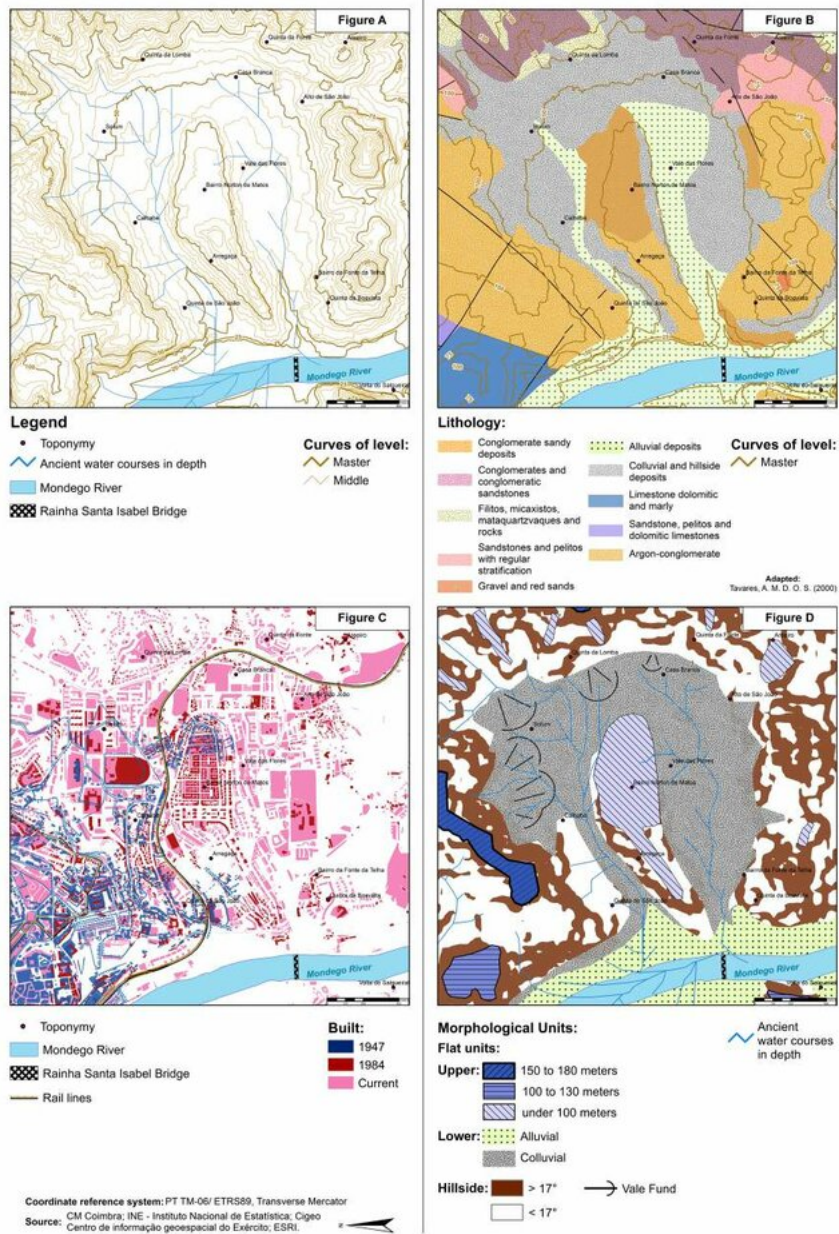


Figura 11 - A morfologia da cidade de Coimbra e crescimento urbano na 2ª metade o século XX. Fonte: Cordeiro, 2021.

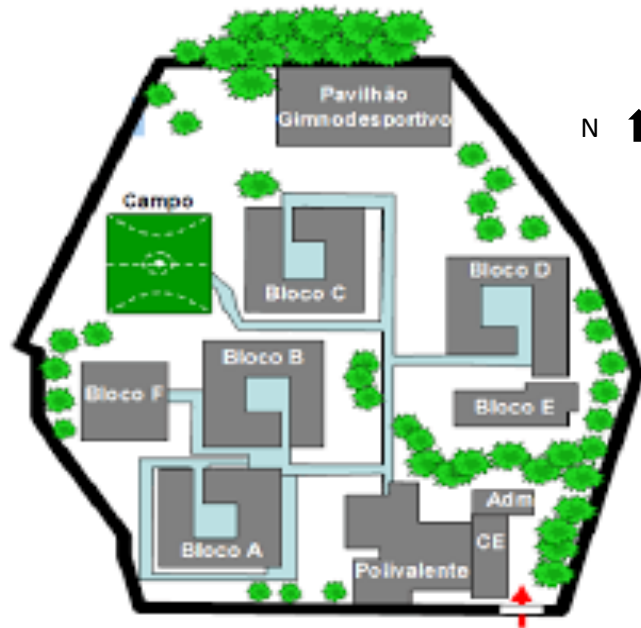


## **Capítulo IV - O Caso de estudo da Escola Básica Eugénio de Castro**

### **4. A ESCOLA BÁSICA DE 2º E 3º CICLO EUGÉNIO DE CASTRO**

O Agrupamento de Escolas de Eugénio de Castro integra a Escola Básica Eugénio de Castro (2º e 3º ciclo), dois Jardins de Infância (Jardim de Infância da Solum e Jardim de Infância de Solum Sul), quatro Escolas do 1º Ciclo do Ensino Básico (Escola Básica da Solum, Escola Básica de Solum Sul, Escola Básica do Tovim e Escola Básica do Dianteiro) e a Escola do Estabelecimento Prisional de Coimbra (Agrupamento de Escolas de Eugénio de Castro, 2021).

A Escola Básica 2º e 3º ciclos Eugénio de Castro, sede do Agrupamento, fica situada na Rua Almirante Gago Coutinho, na Solum, freguesia de Santo António dos Olivais, em Coimbra, e apesar de constituída em 1970, apenas em 1972 no dia 6 de Outubro, iniciou as suas aulas nas atuais instalações. A escola é constituída por 5 blocos de salas de aulas (A, B, C, D, E, F), sendo fruto dos projetos-tipo com as salas de aula dos blocos A, B, C e D a deterem praticamente dimensões, e um bloco E em forma quadrangular e um bloco F de forma cúbica com dois andares. Apresenta ainda um pavilhão gimnodesportivo e um edifício de serviços administrativo (CE e Adm.) e um polivalente. Possui ainda um campo exterior (Agrupamento de Escolas de Eugénio de Castro, 2021) (Figura 12). A escola caracteriza-se por ter maior concentração de “zonas cinzentas”, nomeadamente entre o polivalente e os blocos A, B, C, F, Campo e o pavilhão gimnodesportivo, concentrando o arbóreo na ala E do conjunto do edifício escolar (Figura 12).



Planta da Escola Básica Eugénio de Castro

**Figura 12 - Planta da Escola Básica Eugénio de Castro. Fonte: Catré, *et al.* (2020)**

A planta da escola indicia a presença de arbóreo. Apesar disso, quando observamos a imagem de realidade aumentada, desenvolvida a partir do Blender, verificamos a presença de arbóreo diminuta, principalmente nas zonas centrais do espaço escolar (figura 13) Bloco A e da administração e o Bloco C e D.



**Figura 13 - Imagem virtual da Escola Básica Eugénio de Castro e áreas circundantes via Blender. Fonte: Elaboração própria**

Espaços escolares idênticos aos da escola básica 2º e 3º ciclos Eugénio de Castro podem ser observados um pouco por todo o país, com uma tendência para a presença pouco latente de arbóreo e com a predominância de “zonas cinzentas”, como são exemplos a escola básica 2º e 3º ciclos Pêro Vaz de Caminha, no Porto (figura 14) ou a escola básica 2º e 3º ciclos de Carreira, em Leiria (figura 15).



**Figura 14 - Escola Básica 2º e 3º ciclos Pêro Vaz de Caminha (Porto)**



**Figura 15 - Escola Básica 2º e 3º ciclos de Carreira (Leiria).  
Fonte: Google maps**



**Figura 16 - Escola Básica 2º e 3º ciclos Eugénio de Andrade - Paranhos  
(Porto). Fonte: Google maps**

Estes exemplos, à luz do papel da escola na sociedade e da importância de combate às alterações climáticas, são paradigmáticos da conceptualização do espaço escolar, desde logo, nas vertentes climáticas e da relação do espaço com a educação, tema que será abordado seguidamente e que procurará uma solução harmoniosa entre a educação, o espaço escolar e a áreas verdes.

A Escola Básica 2º e 3º Ciclos Eugénio de Castro, como referido, é uma escola dos anos 70 do século XX, pelo que fora contruída num contexto particular, de renovação e ampliação da rede escolar portuguesa. Pelo facto de serem edifícios tipificados e com estruturas muitas vezes deficitárias, sofreram uma forte degradação até aos dias de hoje ao nível estrutural, assim como de uma visão pouco alicerçada na geografia dos territórios e na adaptação dos mesmo ao ambiente climático.

Os desenvolvimentos científicos e tecnológicos, em torno da educação, e da conceção do desenvolvimento sustentável e do próprio planeamento urbano, impelem a uma revisão dos espaços escolares e por isso à utilização de novas tecnologias que possam mitigar as emissões de carbono e apoiar pedagogicamente o crescimento da comunidade escolar.

A par disso, e como referido por vários autores, os espaços verdes têm efeitos de importantes para as crianças e na saúde mental destas, bem como no desenvolvimento cognitivo e performance académica. E, por isso, o objetivo é trazer as NBS para uma possível remodelação da escola básica Eugénio de Castro, num contexto em que as reformas no edificado demonstram ser necessárias, pois como referido no capítulo 2.2, as escolas pavilhonares apresentam graves problemas infraestruturais, tendo graves problemas de infiltrações e principalmente de fraca impermeabilização e isolamento das salas de aula, sendo que a Escola básica Eugénio de Castro, devido às poucas intervenções e reparações demonstra ser um caso gritante e de urgente intervenção.

#### **4.2. ANÁLISE SINÓPTICA DE DIA 26 DE JULHO DE 2023**

Partindo da análise das cartas e do boletim climatológico do IPMA, no dia 26 de Julho de 2023 (figura 17), Portugal Continental encontrava-se sob a influência de uma frente quente a Norte de Portugal, sendo este o motivo para a situação climatológica verificadas nesse dia, nomeadamente, a temperatura elevada, a ausência de nuvens e o vento quase nulo.

A par disso podemos denotar que o Anticiclone dos Açores, localizado a Oeste dos Açores, influenciava a alta pressão verificada neste arquipélago (1024 hPa), o que poderá justificar a pressão atmosférica verificada em Portugal Continental (1020 hPa) visível na figura 17. O anticiclone está associado a temperaturas mais elevadas, a céu limpo e instabilidade atmosférica quase nula.

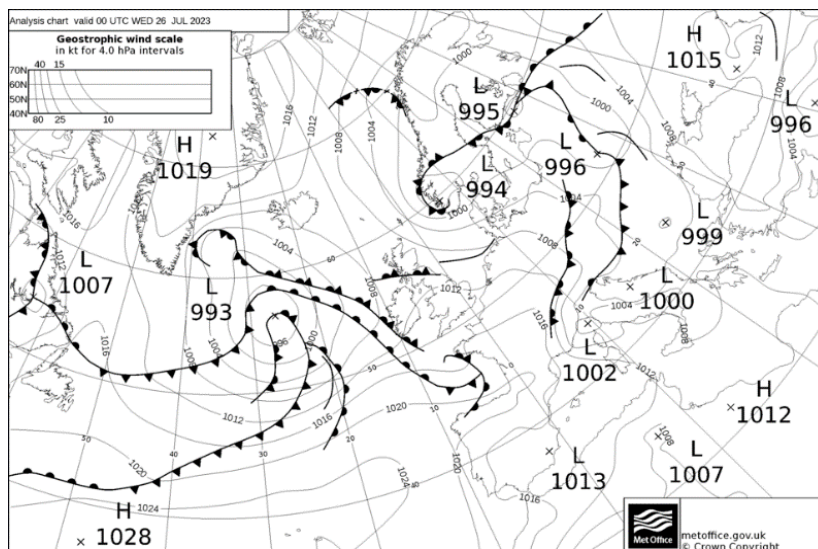
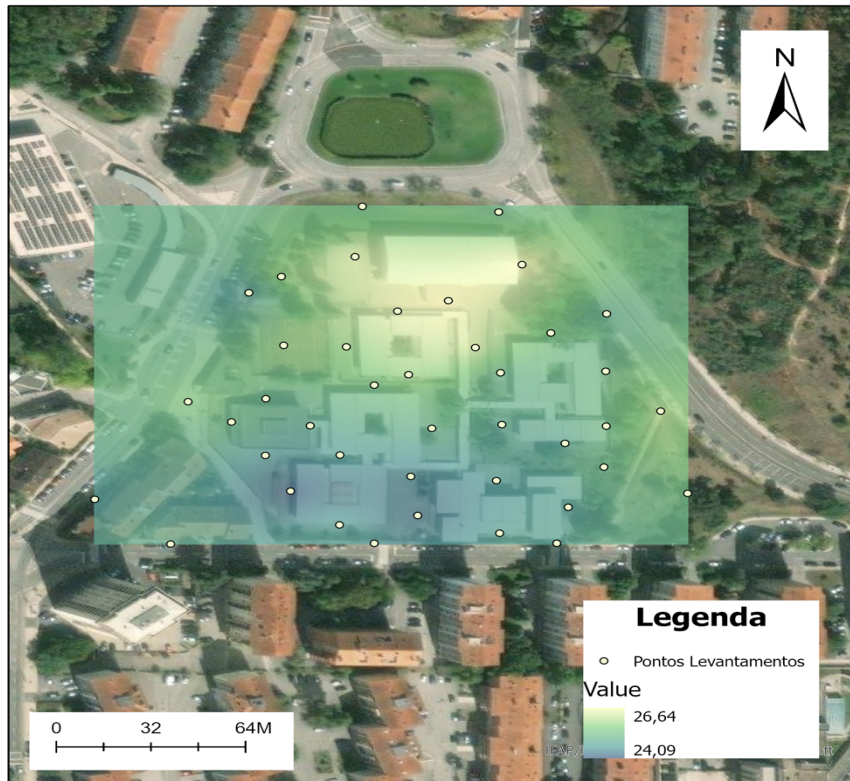


Figura 17 - Situação sinóptica de dia 26 de julho de 2023. Fonte: wetterzentrale

#### 4.3.1. PERCURSO DA MANHÃ - 26-07-2023 INÍCIO ÀS 10H12 E TÉRMINO ÀS 11H47

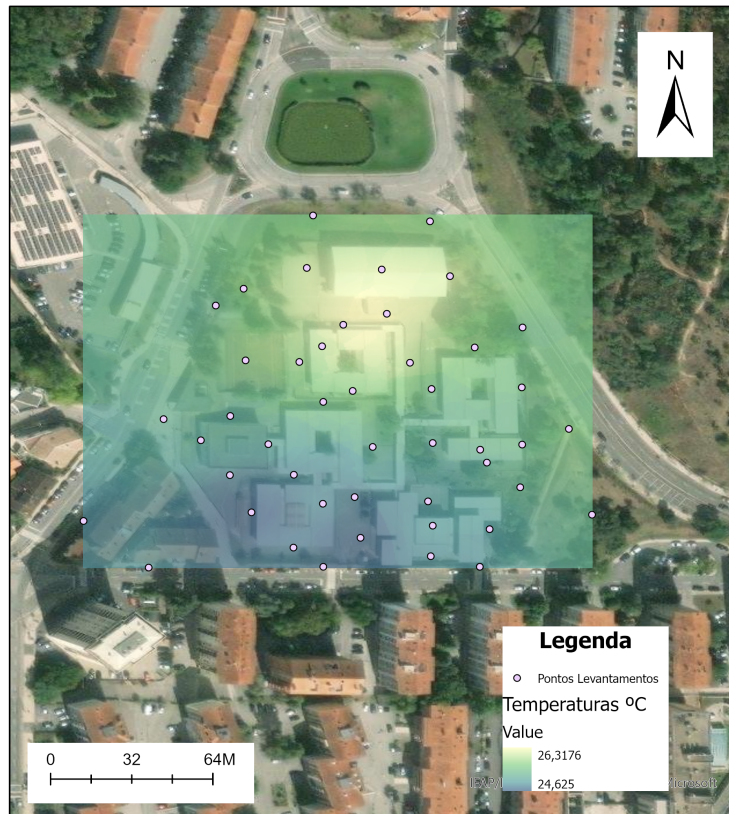
A diferença térmica dos levantamentos dos diferentes pontos recolhidos no decorrer da manhã de 26 de julho foi de 2,55 °C, registando, como temperatura máxima 26,64 °C no quadrante norte, junto ao pavilhão gimnodesportivo e Bloco C, enquanto as temperaturas mínimas se verificaram na área sul da escola, junto ao Bloco A (Figura 18). Apesar disso, podemos verificar uma clara diferenciação entre a parte N-S da Escola, com as temperaturas mais elevadas a situarem-se na zona norte e as temperaturas mais baixas a situarem-se na zona Sul, muito derivadas de uma maior exposição aos raios solares matinais dos setores mais elevados morfologicamente. Porém, a concentração de calor naquela área poderá também dever-se à falta de arbóreo, entre o bloco C e o pavilhão gimnodesportivo.

No que respeita aos espaços interiores, como as salas de aula, utilizou-se para análise uma sala no bloco A, uma sala no bloco E e uma sala no bloco C, por estarem com diferentes localizações e exposições ao sol. No caso da sala A, utilizou-se a sala A4 cuja orientação das janelas é a este, que da parte da manhã apresenta exposição direta ao Sol.



**Figura 18 - Cartograma térmico da Escola Básica Eugénio de Castro da manhã de 26 de julho de 2023**

Como referido na metodologia foram verificadas as temperaturas em cinco espaços, correspondes a três salas de aula - uma no Bloco A (orientação a Este), outra no Bloco C (orientação a Oeste) e uma última correspondente ao Bloco E (orientação a Sul) -, o Polivalente (orientação a Norte) e o Pavilhão gimnodesportivo. Assim, e partindo das anomalias anteriormente mencionadas, observou-se uma temperatura ambiente idêntica no interior à do exterior, como podemos constatar através da figura 19, denotando baixa diferença de temperatura durante o período da manhã, quando acrescentados os pontos relativos às salas de aula.



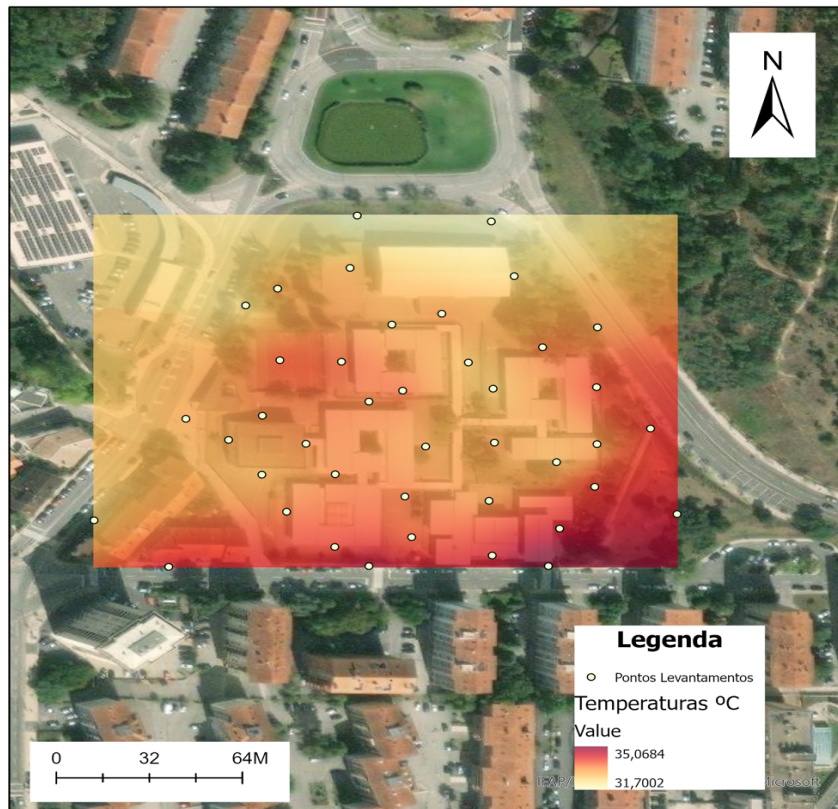
**Figura 19 - Cartograma térmico (com salas) da manhã de dia 26 de Julho de 2023**

#### **4.3.2. PERCURSO DA TARDE - 26-07-2023 INÍCIO ÀS 15H24 E TÉRMINO ÀS 16H12**

Os levantamentos térmicos dos pontos na parte da tarde de dia 26 de julho foi de 3,8 °C, tendo registado uma temperatura máxima de 35,33 °C e a mínima de 31,53 °C (Figura 20). Observa-se uma diferença significativa face aos levantamentos da manhã, pois as áreas de maior temperatura foram registadas na zona SE da escola, enquanto a zona norte apresenta as temperaturas inferiores. As temperaturas mais altas, na zona S e SE do espaço escolar poderão justificar-se pela irradiação de calor, ao longo da tarde pelos edifícios, que apesar de continuarem a receber energia, também a irradiam.

As temperaturas mais baixas, que podemos observar na zona do pavilhão gimnodesportivo, contrariamente ao que era expectável no início deste trabalho, pelo facto de se absorver grande quantidade de radiação ao longo do dia, poderão ser justificadas pela presença de um pequeno lago na rotunda e pela presença de árvores junto ao pavilhão gimnodesportivo, ou mesmo pelo túnel de vento proveniente Avenida António Portugal, na zona Norte do espaço escolar.



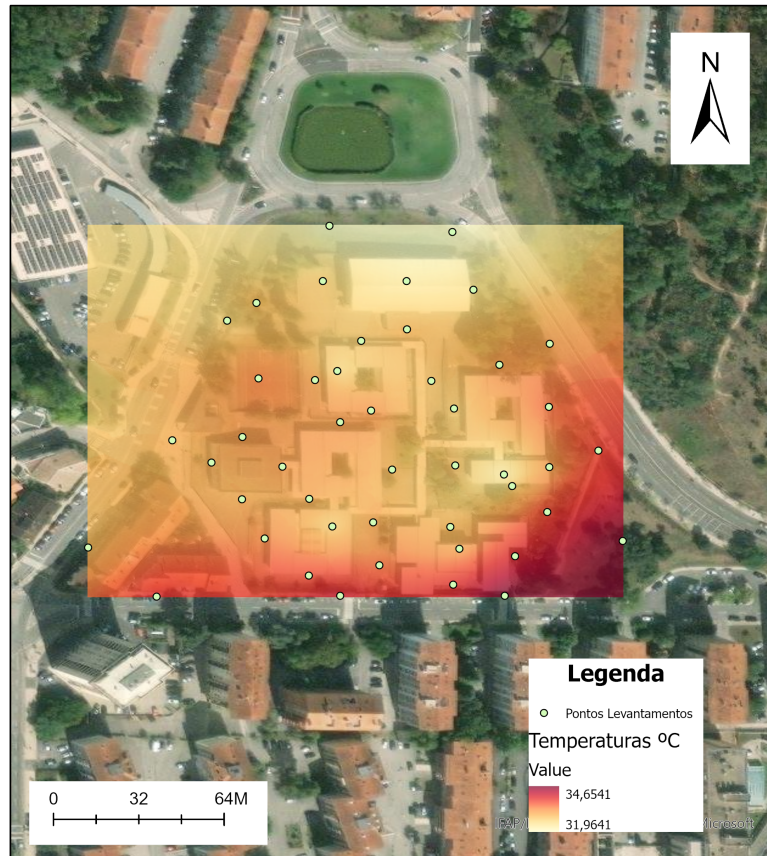


**Figura 20 - Cartograma térmico da tarde de dia 26 de julho de 2023**

Este pressuposto, parte da base de que a presença de árvores poderá, como referido no estado de arte, ser um fator importante de amenização das temperaturas, assim como as “zonas azuis” ou mesmo dos túneis de vento, provocados pela morfologia urbana. Como observável na imagem constata-se que nas áreas em que observamos a presença de arbóreo, denota-se também uma diminuição das temperaturas, como é o caso a sul do Bloco E, entre o Bloco C e D, e a este do pavilhão gimnodesportivo.

Assim, e tal como observado no caso da manhã, quando acrescentados os 5 pontos relativos às salas, pavilhão gimnodesportivo e polivalente, verificou-se muito pouca variação, denotando a incapacidade de amenização das temperaturas e ao fraco isolamento.

Posto isto, consideraram-se os consumos energéticos da escola para procurar entender as diferenças ao longo do ano e a influência destes na fatura energética.



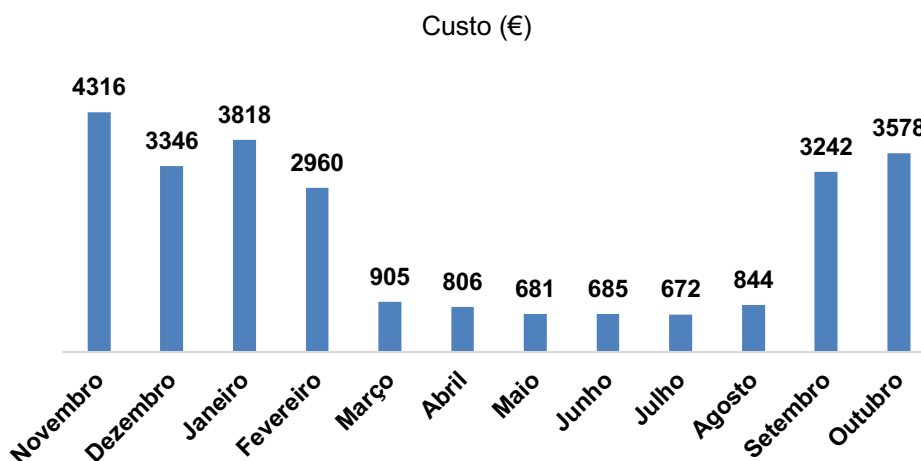
**Figura 21 - Cartograma térmico (com salas) do dia 26 de julho de 2023**

Através do gráfico 1, os consumos de energia são maiores nos meses de outono e inverno (Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro), motivado pelo aquecimento através de aquecedores e radiadores utilizados nas salas de aula. O mês de dezembro é claramente o que mais consumo observa. Os meses de primavera e verão (abril a setembro) são claramente os meses de menor consumo energético, tal poderá ser fruto, de dois fatores, por um lado a menor necessidade de amenização das temperaturas em sala de aula e numa fase posterior o facto de haver menor número ou não haver aulas nos meses de verão (Junho, Julho e Agosto).

Considerando o levantamento de dados obtidos a partir das faturas da escola para o período de 2020 e 2021, observa-se que para mês de novembro, foi registado o maior consumo em termos monetários com 4316 euros e seguido do mês de janeiro, com 3818 euros. O facto de dezembro apresentar valores inferiores prende-se com o facto de neste se observarem as férias do Natal, momento em que o aquecimento não se efetua na totalidade da escola.

Após a realização de uma análise detalhada das condições térmicas da escola, foram identificadas as principais fontes de problemas, como infiltrações e fraco isolamento nas janelas. Através da substituição das janelas defeituosas e da aplicação de isolamento adequado, entende-se que existirá uma melhoria significativa no conforto térmico no interior da escola, desde logo no verão, com a temperatura interna a tornar-se mais amena, e reduzindo a necessidade de refrigeração excessiva, enquanto no inverno, as temperaturas internas permanecerão mais estáveis e confortáveis. Assim, a renovação das janelas, incrementando um maior isolamento deverá garantir uma redução da necessidade de aquecimento e refrigeração das salas de aula e por conseguinte um menor consumo energético.

**Gráfico 1 - Custo (€) associado ao consumo de energia**



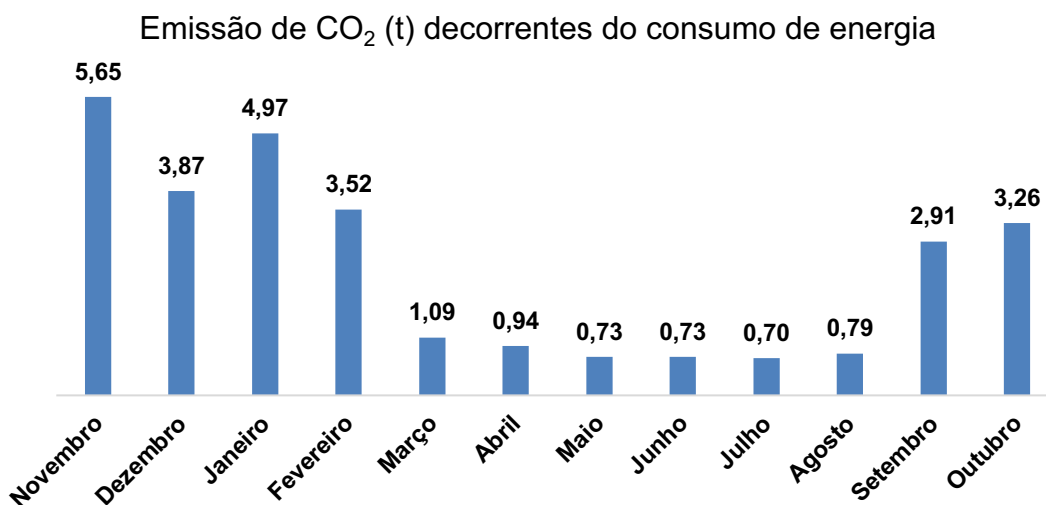
#### 4.4. AS ENERGIAS RENOVÁVEIS E A REABITAÇÃO DA ESCOLA BÁSICA EUGÉNIO DE CASTRO

Tendo em conta o consumo e a poluição produzida nas cidades, importa refletir sobre a mudança que se pretende no espaço urbano como forma de mitigar os efeitos nefastos para a população. Desta feita, e partindo da visão de cidade como um puzzle complexo, constituído por um conjunto de edifícios com diferentes funções e contribuintes de poluição, considera-se essencial uma abordagem num espaço escolar. A Escola Básica Eugénio de Castro, serve assim de caso de estudo para uma análise mais aprofundada de renovação e remodelação do espaço e com o contributo de várias tecnologias, procurando mitigar a emissão de carbono ao mesmo tempo que contribui para a melhoria pedagógica e de saúde da comunidade escolar.

A energia é, como verificado na literatura, a principal causa das emissões de CO<sub>2</sub>, e por isso, urge ter uma abordagem de mitigação do consumo. As energias renováveis poderão ser um bom investimento, atendendo ao potencial demonstrado e à aposta por parte do governo e da UE para atingir a neutralidade carbónica até 2050.

Assim, e como verificado no gráfico 2, as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do consumo de energia têm um impacto significativo, correspondendo a, aproximadamente, 29 toneladas por ano, tornando urgente mitigar, por um lado, o consumo de energia e, por outro, investir em formas de produção de energia renovável e com emissões de CO<sub>2</sub> reduzidas.

Gráfico 2 - Emissão de CO<sub>2</sub> (t) decorrente do consumo de energia.

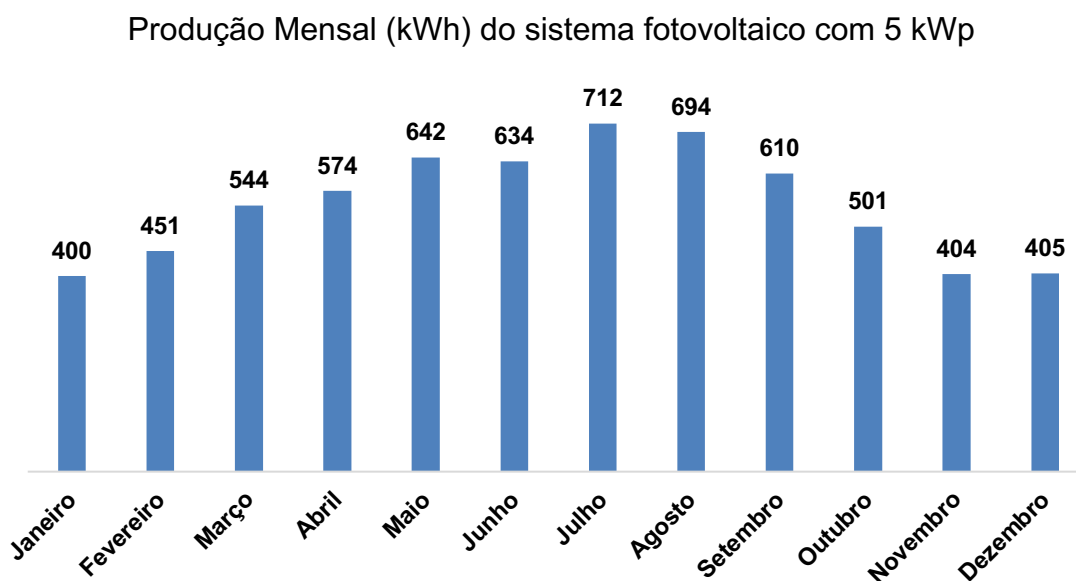


Partindo desta premissa, a aposta em PV constituídos por silício cristalino parece ser a aposta mais realista, pois apesar do seu rendimento estar entre os 15 a 21% como referido na literatura, estes constituem 90% do mercado e têm preços mais baixos que outros PV mais rentáveis do mercado, mas com um custo muito superior. Como referido, utilizar-se-á o software PVGIS para determinar a performance do sistema fotovoltaico. Assim, para uma tecnologia de PV de silício cristalino, desenvolve-se duas análises.

Uma de dimensão média, atendendo aos custos associados a estes investimentos, com 5 kWp (cerca de 20 painéis de 300watts cada), com 20% de perda no próprio sistema e com orientação a SW podemos constatar que, como expectável, os meses de inverno serão os de menor produção de energia, atendendo ao número de horas e aos valores de radiação que atingem Portugal nesta altura do ano e os meses de verão a deterem maior produção.

Em termos mensais, os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro observam uma produção de aproximadamente 400 kWh e os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro é expectável apresentarem uma produção acima dos 600 kWh. Para este sistema, se considerarmos os gastos, em kWh, nos anos de 2020 e 2021, podemos constatar (gráfico 3) uma redução anual de, aproximadamente, 1472 €.

**Gráfico 3 - Produção mensal (kWh) do sistema fotovoltaico com 5 kWp. Fonte: Elaboração própria**

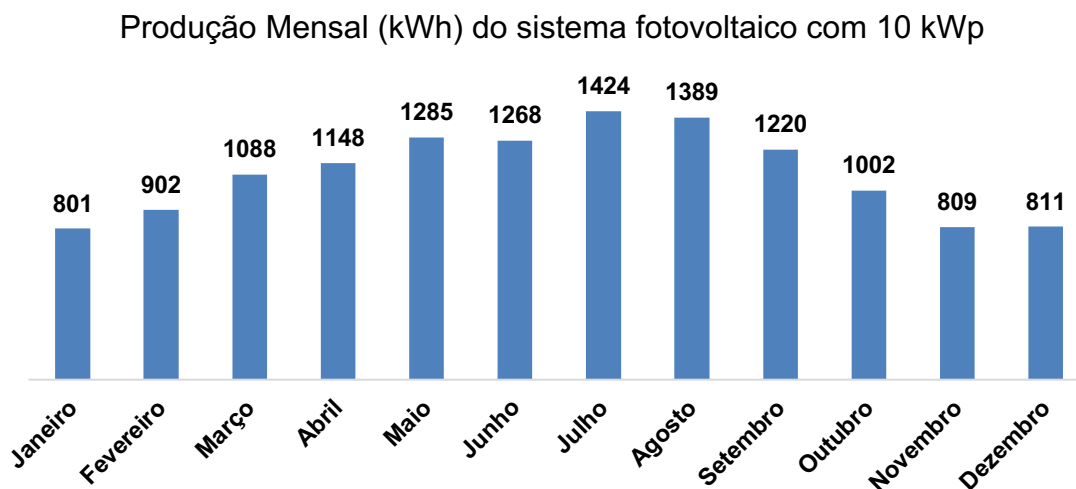


Já se o sistema fotovoltaico for composto por 10 kWp, com 20% de perda no próprio sistemas e com a orientação a SW, observa-se o mesmo padrão dos meses de verão serem os mais rentáveis e vice-versa para o inverno.

Observa-se que os meses de novembro, dezembro e janeiro obtém uma produção de aproximadamente 800 kWh (gráfico 4). Consta-se assim que os meses de inverno serão os menos rentáveis, fruto do número médio de horas de sol e a energia que chega ao painel com valores a ronda os 800 kWh. Em contra face temos os meses de verão cuja produção poderá chegar a 1424 kWh, com os restantes meses a situarem a produção acima dos 1200 kWh. Assim, e para um sistema de dimensão média com aproximadamente 30 painéis (com 300 watts) pode atingir uma redução anual de, aproximadamente, 3188 €.

**Gráfico 4 - Produção mensal (kWh) do sistema fotovoltaico com 10 kWp.**

**Fonte: Elaboração própria**



Os dados apresentados neste campo devem ser analisados num contexto conjugado de fatores, nomeadamente a substituição das janelas, aumentando o isolamento térmico e, por conseguinte, uma redução da necessidade de aquecimento/arrefecimento das salas.

Assim, a aposta na produção de ER por via fotovoltaica deverá ser uma aposta com maior rentabilidade, pois diminuirá a fatura de energia por via da maior capacidade de isolamento térmico enquanto há uma produção própria de energia.

Esta estratégia deverá ser alinhada com um redesenho do espaço escola, nomeadamente nos espaços do recreio, como foi exemplificado, anteriormente, nas escolas onde o espaço arbóreo complementava as “zonas cinzentas”. Assim, a estratégia de resiliência climática deverá estar alinhada com os princípios da renaturalização dos espaços e as NBS, tópico que será abordado de seguida.

#### **4.5. NBS NA ESCOLA EUGÉNIO DE CASTRO**

Num contexto de amenização térmica, as árvores e os espaços verdes demonstram uma eficácia relevante para a garantia de conforto. Esta associação, a par do que fora revisto na literatura, trazem benefícios para a saúde pública, por outro estão associados a melhoria cognitiva, comportamental e de desenvolvimento na performance escolar. Assim considera-se essencial uma maior presença do arbóreo nos espaços escolares, com particular destaque para o caso de estudo.

Assim, a presente dissertação procura dar uma resposta neste sentido, nomeadamente, dotando o espaço escolar de maior número de árvores, localizando-as partindo de uma base estudada que neste caso serão de quais os locais onde se observou a prevalência de temperaturas mais elevadas, ao mesmo tempo que se procura alargar os espaços verdes com espécies mais adequadas ao clima de Coimbra, como são bons exemplos, as árvores caducifólias – e. g. tílias, os plátanos nas exposições a Sul e árvores perenes como os sobreiros ou medronheiros nas exposições a Norte.

Em termos de localização do arbóreo considera-se importante a plantação no setor norte da escola, mais propriamente entre o pavilhão gimnodesportivo e o Bloco C, denotando a inexistência de arbóreo nesse setor, que como verificado apresenta temperaturas mais elevadas na parte da manhã. A par deste espaço, também a área entre os edifícios administrativos e o Bloco A, desprovidos de qualquer tipo de árvore ou espaço verde e que deverá ser considerado, atendendo à necessidade de amenização da parte da tarde, cujas temperaturas se apresentavam mais elevadas.

A par disso, e numa perspetiva de ser um exemplo para outras escolas, a opção de criar um jardim vertical poderá também ser tida em conta como observamos em tantas remodelações que tomam por princípio as NBS, assim a solução poderá passar por colocar esta opção nos corredores de passagem entre bloco, dotando não só a questão estética, como também a captação de carbono no centro do dia-a-dia da comunidade escolar.

#### 4.6. AS NOVAS TECNOLOGIAS E A ESCOLA

De entre as várias questões que foram sendo levantadas ao longo deste projeto, verifica-se a necessidade de dotar as cidades de uma maior inteligência (as *smart cities*). Assim, e transpondo para um espaço escolar poderá ser adotada uma perspetiva de *living lab*, com a escola a servir de exercício para que a comunidade escolar possa usufruir de fontes de dados provenientes da produção de energia fotovoltaica ou dos sistemas de irrigação da escola. Esta parece-nos uma opção inovadora, mas que beneficiará o crescimento e educação dos jovens estudantes, pois poderá ser uma forma pedagógica e didática de transmitir conhecimentos variados sobre a problemática das alterações climáticas e as soluções existentes num espaço que tão bem conhecem, a sua escola. A par deste a escola deverá estar dotada de um sistema de monitorização e gestão inteligente de energia, promovendo uma melhor eficiência energética do edifício.

Posto isto, a adoção de um conjunto de tecnologia como os bancos inteligentes e autossuficientes, que funcionam através de energia fotovoltaica e permitem o carregamento dos telemóveis assim como podem ser pontos de acesso à internet, ou medir os níveis de humidade, poluição e temperatura, como o exemplo da imagem 1, adotado no concelho de Águeda.



**Imagem 1 - Bancos inteligentes de carregamento. Fonte: Raposo, F. (2020)**

A criação de uma horta poderá ser também uma excelente aposta, pois permite à comunidade escolar um contacto mais próximo com os produtos hortícolas, ao mesmo tempo que alerta para a necessidade de conservação dos espaços naturais.

A aposta na economia circular é mais uma das questões mais abordadas nos últimos tempos e a escola Eugénio de Castro poderá estar na linha da frente desta temática no contexto



escolar, nomeadamente na aposta na contabilização dos produtos reciclados e reutilizados, seja para desenvolver matérias artísticas ou para outra utilização que se considere útil na fase de dar uma nova vida a um determinado produto.

Um outro aspeto que poderá ser considerado são as livrarias ao ar livre (imagem 2), funcionando como uma espécie de estante que servirá para trocar livros. A par desta, considera-se vantajoso fornecer uma espécie de livraria digital para a comunidade escolar que possa servir para encorajar à leitura de forma gratuita.



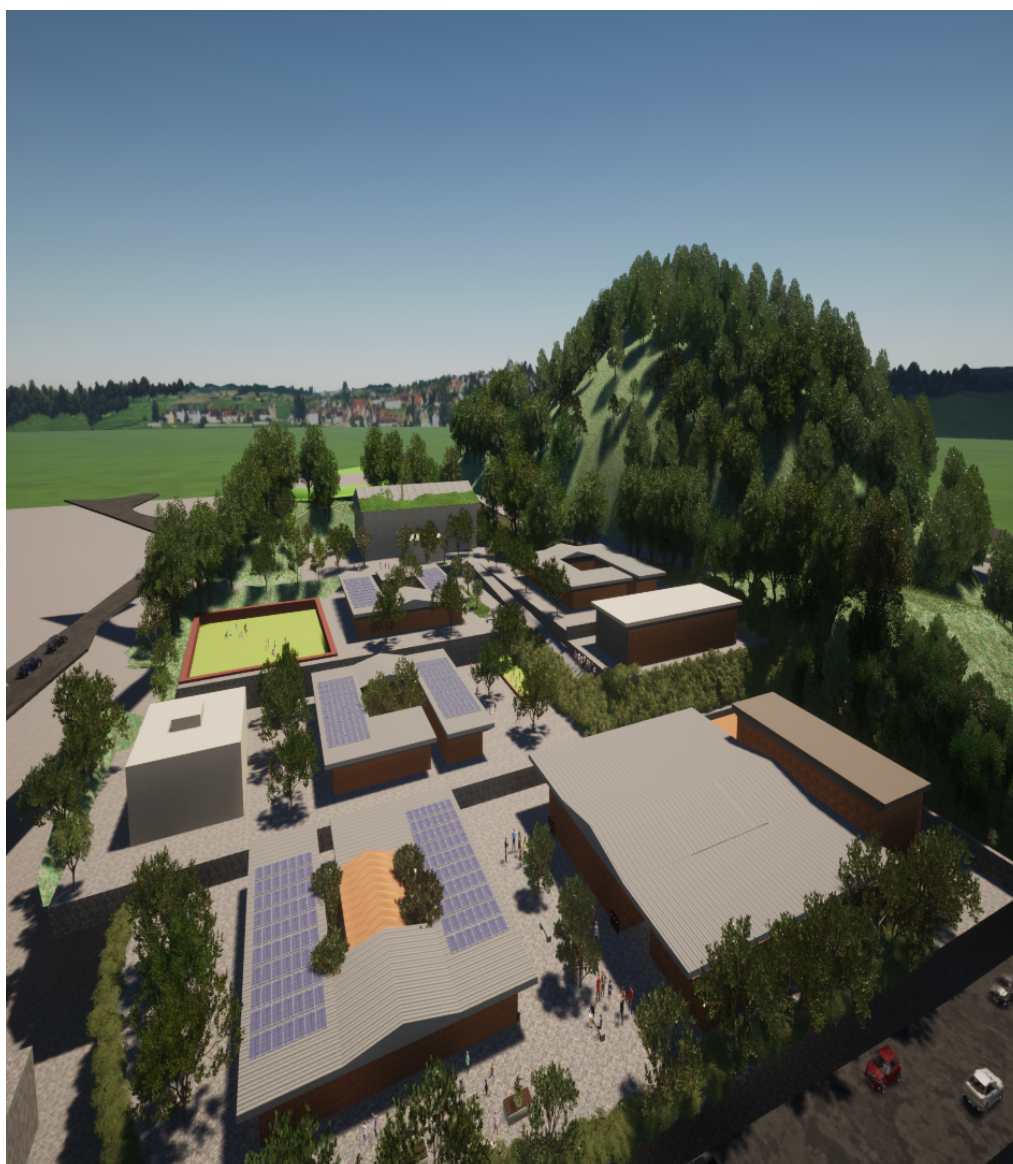
**Imagem 2 - Livraria ao ar livre de Weeze, Alemanha. Fonte: própria**

Este conjunto de medidas poderão servir de mote para uma candidatura ao programa Eco-escolas que premeia as escolas com resultados observáveis em matérias de sustentabilidade, num contexto em que o papel das escolas nesta aposta pode ainda ter um papel preponderante, desde logo, pela forma como desde cedo, as crianças e jovens poderão contactar com a sustentabilidade e a problemática das alterações climáticas no local onde passam grande parte do seu tempo diário.

Desta forma, o produto final a que se pretendia chegar seria uma escola com que conjuga o equilíbrio entre os espaços cinzentos e os espaços verdes, delegando o espaço do recreio para

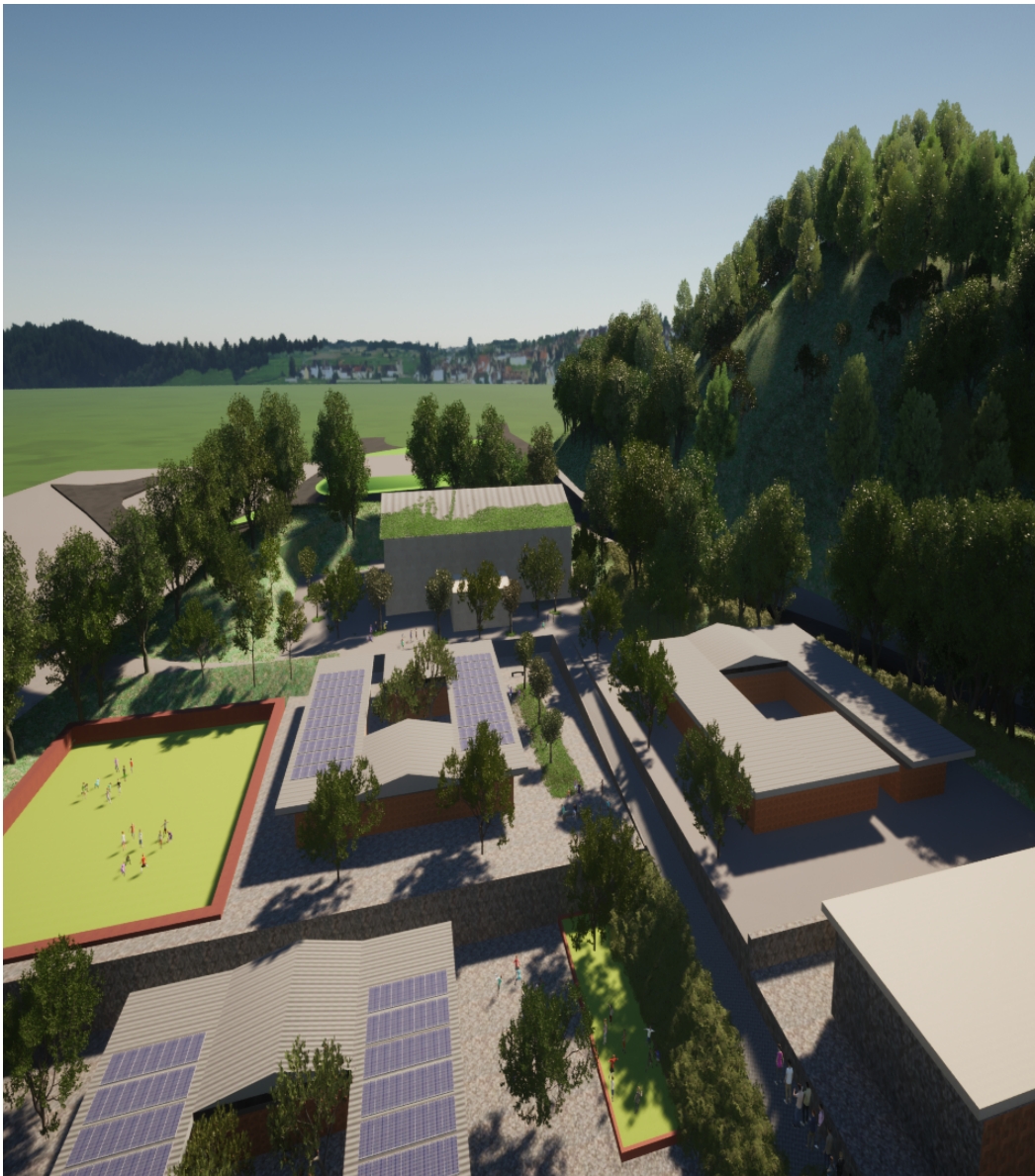
áreas de contacto direto com a natureza e com particular destaque para o arbóreo como podemos observar através da imagem de realidade aumentada, desenvolvida através do *Twinmotion*.

Como era objetivo desta dissertação, a utilização destas ferramentas e *software* permitem uma visualização mais aproximada do que se pretende para a remodelação e renovação deste espaço escolar, pelo que sendo meramente indicativas trazem o contexto necessário para a projeção dos espaços e dos tipos de sombras, dimensões do arbóreo e da disposição dos mesmos no espaço. Assim, a imagem 3, demonstra um plano entre o Bloco A e o edifício dos serviços administrativos, com a conjugação, anteriormente não presente, de árvores. Esta disposição procura mitigar o efeito das temperaturas verificadas no terreno e desta forma, tornar este mais um espaço de utilização, em condições de temperaturas mais altas.



**Imagem 3 - Realidade aumentada da Escola Eugénio de Castro**

Numa outra perspetiva, a adoção das NBS permite a criação de estratégia de relação direta entre as crianças e o espaço escolar natural, como se pretendeu demonstrar através da criação de mais espaços de lazer, no caso, junto ao Bloco C e que procura aliar, estes à mitigação das zonas de calor pela sua capacidade de arrefecimento. (imagem 4)



**Imagem 4 - Realidade aumenta da escola Eugénio de Castro. Áreas de mitigação de calor**

Por outro lado, e como exposto anteriormente, o objetivo passou ainda pela mitigação do consumo energético e da pegada carbónica associada, perante isto, a adoção de painéis fotovoltaicos foi considerada a mais eficaz tendo em vista as diretivas da Agenda 2030 e da União Europeia, pelo potencial demonstrado em território nacional. Assim, a instalação dos

painéis passou pelas áreas de menor obstrução solar, que no caso foram o Bloco A, B e C da escola.

Perante estas perspetivas, entende-se que a aposta nestas medidas de mitigação, poderão ajudar a aproximar a Escola Básica Eugénio de Castro da conceção de um espaço mais sustentável e inteligente, contribuindo para a cidade e para o desenvolvimento sustentável.

#### 4.7. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

As alterações climáticas são, atualmente, uma das principais premissas quando o espaço urbano é abordado, desde logo pela necessidade de reduzir a pegada carbónica das atividades antrópicas e dos seus edifícios assim como mitigar os efeitos nefastos que têm no quotidiano da sociedade. Desta feita, a presente dissertação procura, atendendo à pertinência do tema, responder à forma como são idealizadas as remodelações e renovações dos espaços, neste caso em particular, de um espaço escolar, a Escola Básica Eugénio de Castro.

O contexto escolar sofreu grandes alterações ao longo do tempo, em particular, com o alargamento da rede escolar nacional e o aumento do nível de escolaridade obrigatória eram prioritárias. Assim, durante os anos 70 e 80 do século XX foram construídos projetos escolares tipificado, com formas pavilhonares, onde podemos situar a construção da escola Eugénio de Castro. Esta alargamento rápido e com projetos tipificado levou a que os edifícios não tivessem a qualidade necessária dos materiais, tornando-se vulneráveis com o passar do tempo, principalmente se não sujeitos a intervenções ou reparações. A par disso, e referido por vários autores, a degradação e as anomalias são, essencialmente, relacionadas com o isolamento, impermeabilização, fraturas/fissuras no edificado.

Perante o apresentado, entre o fraco isolamento e impermeabilização e as temperaturas mais elevadas de consumo energético no inverno, é possível tirar algumas ilações, nomeadamente de que o consumo energético advém, essencialmente, da tentativa de aquecimento do edificado e que os meses de verão, pela presença residual de estudantes, estando a funcionar de forma mais permanente os serviços administrativos observam um consumo mais reduzido de energia.

Como referido por vários autores, a energia tem um papel preponderante na redução da pegada carbónica e na perspetiva de alcançar a neutralidade carbónica rumo às cidades sustentáveis e inteligentes e sendo um elemento essencial das cidades, os espaços escolares

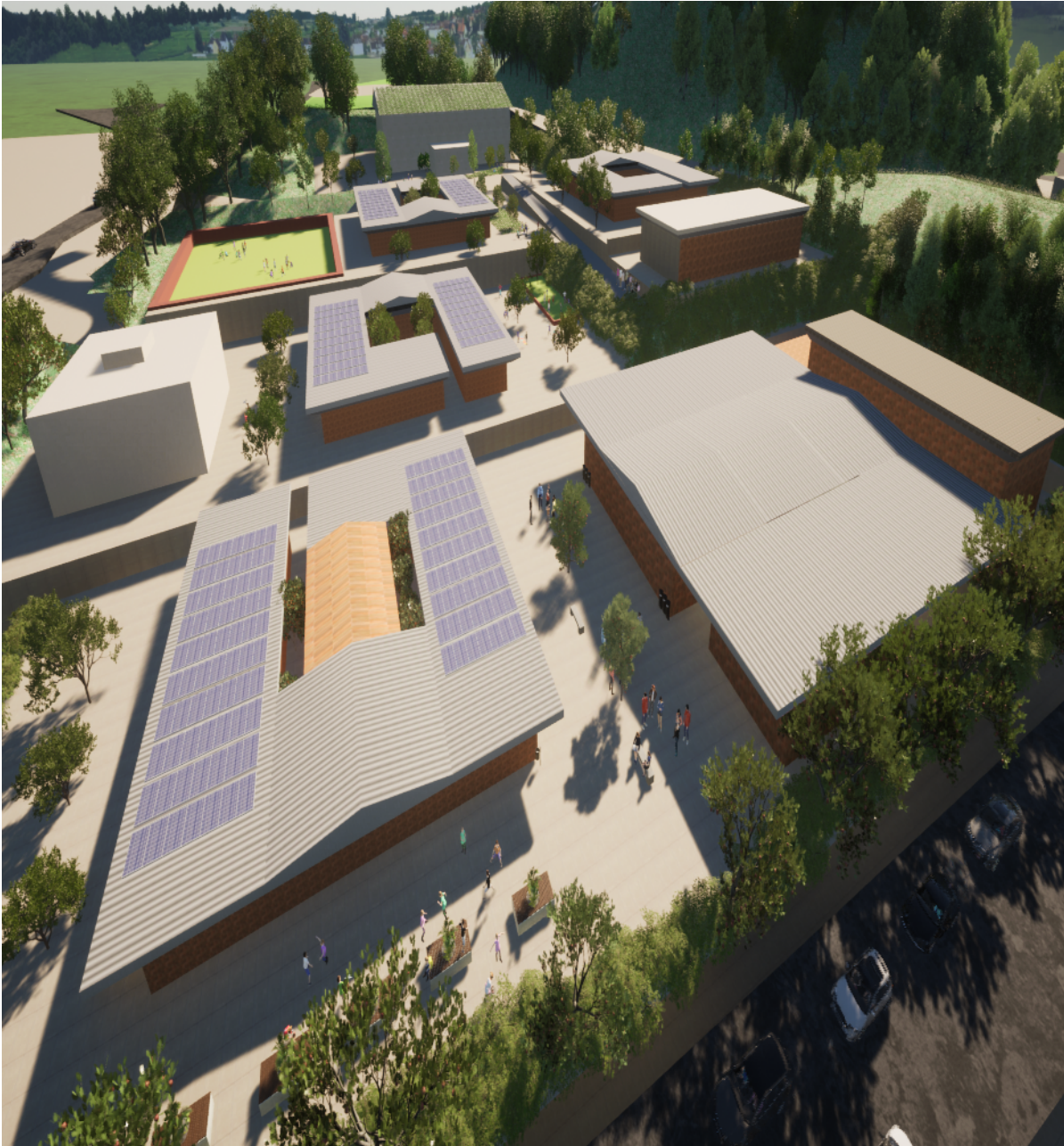
Como observado, a escola básica Eugénio de Castro apresenta um elevado consumo de energia e das emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes deste consumo, e perante isto, a abordagem passou por procurar entender as formas mais eficazes para criar um espaço escolar onde a pegada carbónica é mais reduzida. Assim, a ideia passou por criar um espaço escolar onde se poderia desenvolver e investir em formas de produção de energia renovável.

A par disso, os edifícios escolares pavilhonares não foram idealizados tendo em vista as características climáticas, assim como a projeção equilibrada entre os espaços verdes e cinzento, pelo que o que se constata é espaços escolares com muitas áreas cinzentas, desequilibradas entre si e que não atende às necessidades de amenização das temperaturas nas salas de aula, mas também nos espaços do recreio e circulação dos espaços escolares.

Como foi referido anteriormente, os estudos epidemiológicos indicam que os espaços verdes têm importante relação com o desenvolvimento e crescimento das crianças. Os espaços verdes são, como referido na literatura, potenciadores de desenvolvimento cognitivo e de performance académica, assim como de vários benefícios na saúde. Estes aspetos, a par dos já conhecidos benefícios para o planeta, através da capacidade de retenção de carbono, trazem para o espaço escolar uma singular importância. Perante isto, a opção de repensar o espaço escolar, através das *nature based solutions*, têm-se por pressuposto a vertente pedagógica aliada ao aumento da performance académica e a amenização das temperaturas na escola. Assim, a tomada de decisão deverá optar pela utilização de árvores mais capazes de amenizar as temperaturas como foi anteriormente abordada com a utilização de tílias, plátanos, amoreiras, sobreiros ou medronheiros, típicos do clima observado em Coimbra e que garanta o conforto necessário para a aprendizagem das crianças.

No que às formas de produção de energia diz respeito, a opção fotovoltaica teve por pressuposto a forte aposta na produção descentralizada e renovável, por via fotovoltaica.

Assim, a opção passou pela localização dos painéis nas áreas menos obstruídas por zonas de sombra, em que os blocos A, B e C se demonstraram mais eficazes, como se verifica nas imagens x, x e x, demonstrativas das sombras ao longo do dia., nomeadamente, a figura 5 com a sombra verificada às 9 horas da manhã, a figura 6 às 12 horas e a figura 7 às 16 horas.



**Imagem 5 - As áreas de sombra às 9 horas da manhã**



**Imagem 6 - As áreas de sombra às 12 horas da manhã**





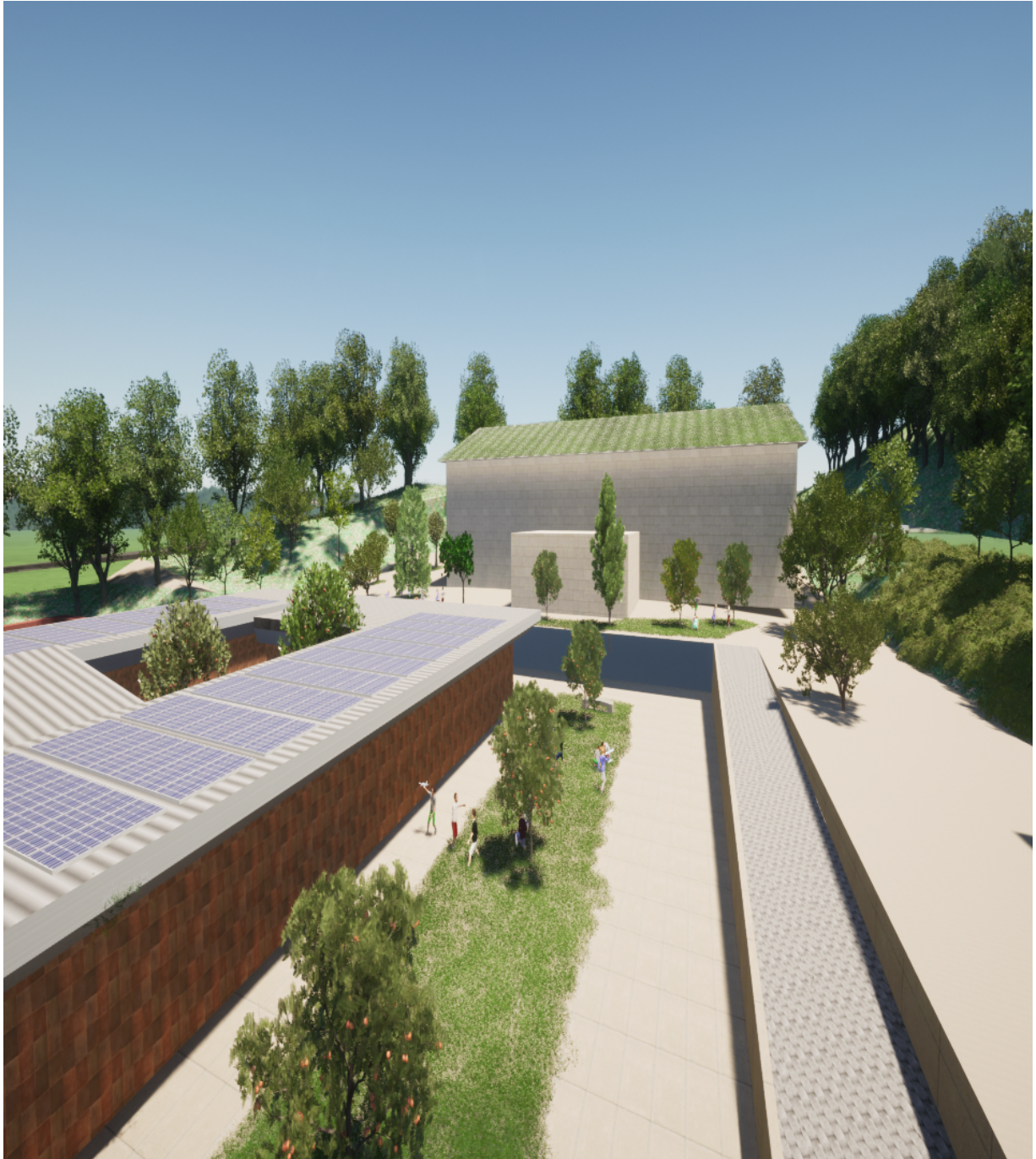
**Imagem 7 - As áreas de sombra às 16 horas da tarde**

Estas apresentam-se como edifícios centrais (Blocos A, B e C) com obstrução quase nula de sombras como foi possível verificar, e por isso, as que maior potencial apresentam para fazer uma produção mais eficiente de energia. Assim, o dimensionamento da central de produção, deverá ter em conta, a capacidade de investimento e por conseguinte o potencial de produção mensal e anual. Sendo que os resultados obtidos indicam que poderá ser atingida uma redução em aproximadamente, 1472€ anualmente, para uma capacidade instalada de 5 kWp, ou no caso

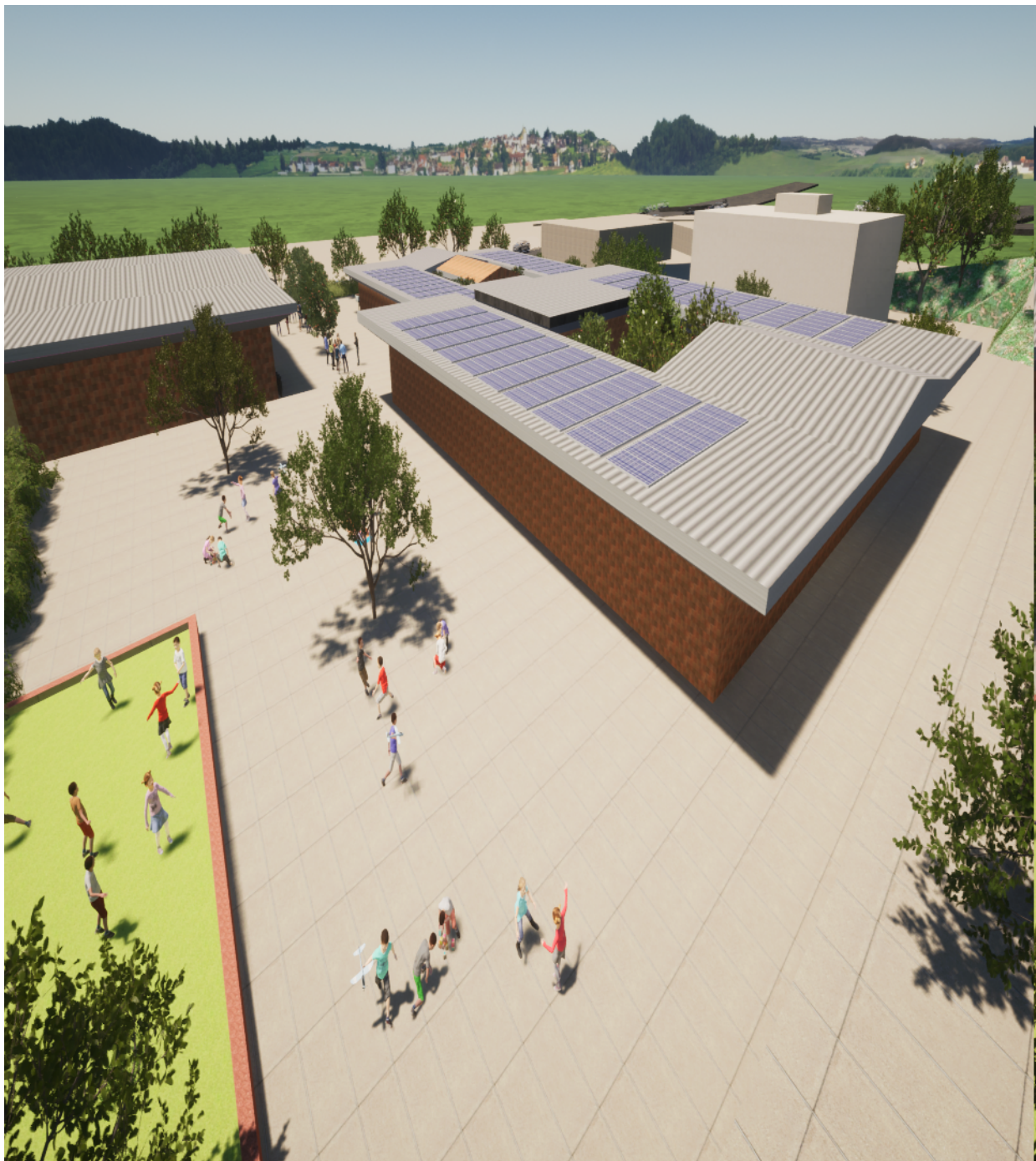
de a opção ser de uma capacidade instalada de 10 kWp, o valor acumulado poderá ser de 3188 €. Estes valores são meramente indicativos, sendo que maiores investimentos trarão com certeza mais capacidade de produção para autoconsumo e, por conseguinte, uma redução mais eficiente da fatura associada à energia, assim como da redução significativa da pegada carbónica.

Assim, considera-se importante a utilização do maior número passível de investimento na produção descentralizada de energia renovável por forma a que seja mais eficaz as missivas de uma escola sustentável e neutra em carbono.

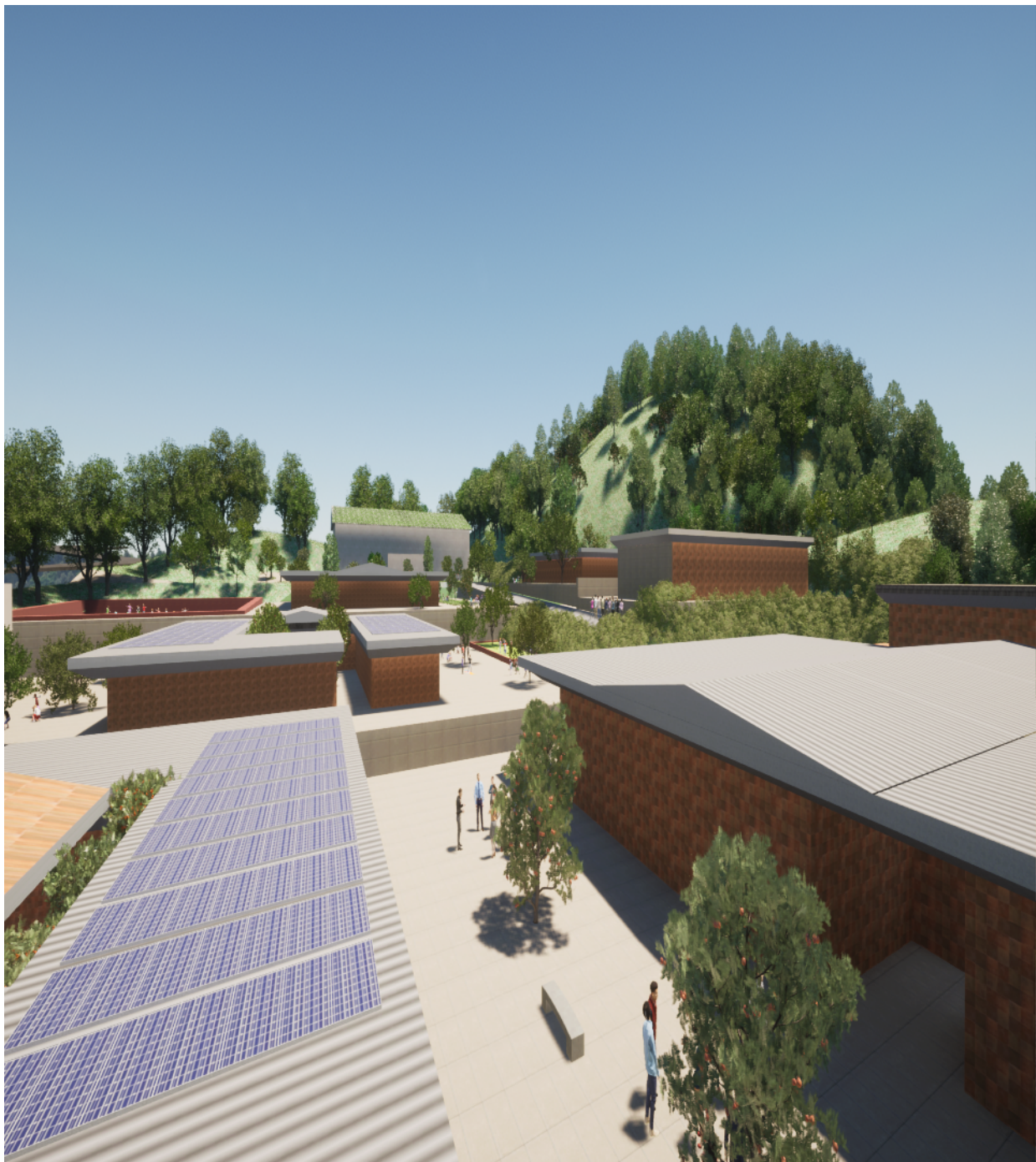
Assim, o projeto final consagra uma escola que alia as vertentes supramencionadas da produção de energia renovável e da incorporação mais numerosa de arbóreo, assim como o conjunto de inovações, como os bancos autossuficientes de carregamento. Como é observável, assumiu-se a disposição de um arbóreo muito mais presente em áreas como o Bloco A, Bloco C e D e ainda a área circundante ao Pavilhão gimnodesportivo, procurando intervir áreas nas em que se verificou maior temperatura. Este fator contribui para o maior equilíbrio entre os espaços cinzentos e os espaços verdes que, por sua vez, como referido contribui para o desenvolvimento das crianças, assim como para um espaço de recreio mais aprazível e de contacto com a natureza, podemos verificar na imagem 8, 9 e 10.



**Imagem 8 - A integração das NBS e do PV na Escola Básica Eugénio de Castro. Pavilhão e Bloco C**



**Imagem 9 - A integração das NBS e do PV na Escola Básica Eugénio de Castro. Bloco A, B e de serviços**



**Imagem 10 - A integração das NBS e do PV na Escola Básica Eugénio de Castro**

## Capítulo V - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação e de todo o trabalho de pesquisa e investigação teve como principal objetivo obter resultados que demonstrassem a necessidade de equacionar novas formas de conceber os espaços escolares, tomando por princípio o desenvolvimento sustentável, associado às tecnologias de produção de ER e à amenização das temperaturas associada às NBS.

Com este trabalho, perspetivou-se relacionar o microclima com o efeito da presença de arbóreo, assim como, o conjugar das inovações que estão a ser desenvolvidas no campo das cidades inteligentes e sustentáveis e da Agenda 2030 para tornar uma escola mais resiliente às alterações climáticas e mais sustentável. Partindo do novo paradigma das cidades, e das metas de Portugal e da UE estabelecidas, para atingir a neutralidade carbónica, como é o caso do Roteiro para a Neutralidade Carbónica e o Plano Nacional para a Energia e Clima, torna-se premente conceber as novas formas de mitigar os GEE decorrentes das atividades antrópicas, assumindo aqui um espaço escolar como um estudo piloto nesse sentido.

As novas premissas de renaturalização dos espaços, e atendendo à fraca aposta em espaços verdes aquando da construção das escolas, configura um elemento singular, pois permitiu idealizar os novos espaços verdes a partir da análise das temperaturas verificadas num dia de altas temperaturas e da variação de temperatura neste espaço escolar.

Neste contexto, a Escola Básica Eugénio de Castro foi assumida como um espaço de referência para o desenvolvimento sustentável, configurando um espaço renovado, que integra as *nature based solutions*, na requalificação e remodelação do espaço, assim como a integração de uma central de produção fotovoltaica de energia para autoconsumo, potenciando, simultaneamente, a visão necessária a jovens adolescentes sobre as alterações climáticas.

Estes elementos, fundamentais nesta dissertação, procuram uma resposta cabal à amenização das temperaturas, mas também à redução da fatura energética, que sendo muito elevada como se verificou, demonstra também que o caminho para as cidades sustentáveis e inteligentes deverão passar pela utilização das condições climáticas existentes, assim como da aposta na energia renovável.

Esta dissertação procura assim, servir de mote à inovação nos espaços escolares aliando a vertente pedagógica com as novas linhas orientadoras de desenvolvimento sustentável tendo em vista as *Smart Sustainable cities* e as inovações observadas em redor do globo. Para futuros

trabalhos, considera-se essencial alargar a área de análise térmica da cidade de Coimbra, que permita desenvolver uma maior consciência das problemáticas associadas à eficiência energética e amenização das temperaturas dos edifícios. No caso particular da Escola Básica Eugénio de Castro, considera-se importante desenvolver uma análise das temperaturas durante o Inverno, com particular destaque para as salas de aula, que presumivelmente, apresentarão menor capacidade de retenção do calor, fruto do fraco isolamento térmico do edificado e, por conseguinte, do um aumento da fatura energética.

## Bibliografia

- Abreu, L. V., e Labaki, L. C. (2010). Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: Avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. *Ambiente Construído*, 10(4), 103–117. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000400008>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., e Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Albert, C., Schröter, B., Haase, D., Brillinger, M., Henze, J., Herrmann, S., Gottwald, S., Guerrero, P., Nicolas, C., e Matzdorf, B. (2019). Addressing societal challenges through nature-based solutions: How can landscape planning and governance research contribute? *Landscape and Urban Planning*, 182, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.003>
- ALEGRE, Alexandra, HEITOR, Teresa, COTRIM, Hélder, VAZ, Diana, SILVA, João Carneiro da, SILVA, José Freire da, “Liceus escolas técnicas e secundárias”, Parque Escolar, Lisboa, 2010.
- Al-Nory, M. T. (2019). Optimal decision guidance for the electricity supply chain integration with renewable energy: Aligning smart cities research with sustainable development goals. *IEEE Access*, 7, 74996–75006. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919408>
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050). [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050\\_PT-22-09-2019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf)
- APA (s. d.). Emissões de gases com efeito de estufa | relatório do estado do ambiente. Obtido 12 de Julho de 2022, de <https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa>
- Atapattu, S. A., e Schapper, A. (2019). *Human rights and the environment: Key issues*. Routledge.
- Avoided emissions calculator. (sem data). /Statistics/View-Data-by-Topic/Climate-Change/Avoided-Emissions-Calculator. Obtido 28 de Junho de 2022, de <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Climate-Change/Avoided-Emissions-Calculator>



- Baker, S. (2016). *Sustainable development (Second edition)*. Routledge, Taylor e Francis Group.
- Barreiras, J. (2012). *Caracterização construtiva e do estado de degradação das escolas do ensino secundário; O caso de estudo: Edifícios pavilhonares e prefabricados* [Master Thesis, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa].
- Barrionuevo, J. M., Berrone, P., e Ricart Costa, J. E. (2012). Smart cities, sustainable progress: Opportunities for urban development. *IESE Insight*, 14, 50–57. <https://doi.org/10.15581/002.ART-2152>
- Batista, R. (2021). *Implementação de uma Comunidade de Energia Renovável* [Dissertação de Mestrado, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa]. [https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/22931/1/master\\_rui\\_veloso\\_batista.pdf](https://repositorio.iscte-iul.pt/bitstream/10071/22931/1/master_rui_veloso_batista.pdf)
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., e Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Bibri, S. E. (2021). Data-driven smart sustainable cities of the future: An evidence synthesis approach to a comprehensive state-of-the-art literature review. *Sustainable Futures*, 3, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2021.100047>
- Bibri, S. E., e Krogstie, J. (2020). Data-Driven Smart Sustainable Cities of the Future: A Novel Model of Urbanism and Its Core Dimensions, Strategies, and Solutions. *Journal of Futures Studies*, 25(2), 77–94. [https://doi.org/10.6531/JFS.202012\\_25\(2\).0009](https://doi.org/10.6531/JFS.202012_25(2).0009)
- Brons, M. E., Bolt, G. S., Helbich, M., Visser, K., e Stevens, G. W. J. M. (2022). Independent associations between residential neighbourhood and school characteristics and adolescent mental health in the Netherlands. *Health e Place*, 74, 102765. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2022.102765>
- BSCD (2016). *Objetivos de desenvolvimento sustentável*. <https://www.ods.pt/>
- Catré, M. N., Rodrigues, A., Martins, A., Leal, A., Queiroz, H., Almeida, J., Portugal, J., Santos, M., Paixão, M. J., & Lacerda, P. (2020). PROJETO EDUCATIVO 2020-2023 EcoGenius. Agrupamento de Escolas Eugénio de Castro. [https://www.aeeugeniodecastro.pt/wp-content/uploads/2022/05/Projeto\\_Educativo\\_2020\\_2023.pdf](https://www.aeeugeniodecastro.pt/wp-content/uploads/2022/05/Projeto_Educativo_2020_2023.pdf)

- Cavaco, C., Vilares, E., Rosa, F., Magalhães, M., e Esteves, N. (2015). Cidades Sustentáveis 2020. Direção Geral do Território. [https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/ficheiros-cidades/cidades\\_sustentaveis2020.pdf](https://www.dgterritorio.gov.pt/sites/default/files/ficheiros-cidades/cidades_sustentaveis2020.pdf)
- Chen, Y.-T. (2011). Sketch technology roadmap by using a novel vision-oriented service innovation approach: Environmental-technology roadmap for designing sustainable city as an example. Em P. Golinska, M. Fertsch, e J. Marx-Gómez (Eds.), *Information Technologies in Environmental Engineering: New Trends and Challenges* (pp. 135–149). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-19536-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-19536-5_11)
- Cordeiro, A. M. R. (2021). Morphological system and urban settlements. Coimbra (Portugal): A city from the roman times to the present. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 14, 19. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu14.msus>
- Cordeiro, A. M. R. (2022). The importance of the holistic view in urbanism: The role of physical geography in the sustainable city of the 21st century. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 9(12), 380–397. <https://doi.org/10.14738/assrj.912.13662>
- Cordeiro, A. M. R., Martins, H. A., e Ferreira, A. G. (2014). As cartas educativas municipais e o reordenamento da rede escolar no Centro de Portugal: Das condições demográficas às decisões políticas. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 22(84), 581–607. <https://doi.org/10.1590/S0104-40362014000300002>
- Cunha, L., e Dimuccio, L. A. (2018). *Paisagens e riscos naturais no município de coimbra. Análise preliminar*. Universidade Estadual de Londrina.
- Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., Forns, J., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., Rivas, I., López-Vicente, M., De Castro Pascual, M., Su, J., Jerrett, M., Querol, X., e Sunyer, J. (2015). Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(26), 7937–7942. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, ADNE - Agência para a Energia, Direção de Formação, Informação e Educação, e Observatório da energia, (2022). *Energia em Números—Edição 2022*. <https://www.dgeg.gov.pt/media/zuffmfm4/dgeg-aen-2022e.pdf>

- Direção-geral de Educação. (sem data). Objetivos de desenvolvimento sustentável [ods] |  
Obtido 25 de Julho de 2022, de <https://www.dge.mec.pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods>
- Dorst, H., Van Der Jagt, A., Raven, R., e Runhaar, H. (2019). Urban greening through nature-based solutions – Key characteristics of an emerging concept. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101620. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101620>
- Dorst, H., Van Der Jagt, A., Raven, R., e Runhaar, H. (2019). Urban greening through nature-based solutions – Key characteristics of an emerging concept. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101620. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101620>
- DRE. (2022). <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/15-2022-177634016>
- Ediger, V. Ş. (2019). An integrated review and analysis of multi-energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Procedia*, 156, 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.073>
- EDP Comercial. (2020). Como funciona um painel solar fotovoltaico. EDP Comercial. <https://www.edp.pt/particulares/content-hub/como-funciona-um-painel-fotovoltaico/>
- Euroelectric. (2019). Citizens Energy Communities: Recommendations for a successful contribution to decarbonisation. Euroelectric position paper. <https://www.apren.pt/contents/publicationsothers/euroelectric--citizens-energy-communities.pdf>
- European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2015). Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions e re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature based solutions and re naturing cities' : (Full version). Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/765301>
- European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2015a). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions e re-naturing cities: Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature based solutions and re naturing cities' : (Full version)*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/765301>
- European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2015b). *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions and re-naturing cities :final report of the Horizon 2020 expert group on «Nature based solutions and re*

- naturing cities*»: (Full version). Publications Office.  
<https://data.europa.eu/doi/10.2777/479582>
- Farr, D. (2008). *Sustainable urbanism: Urban design with nature*. Wiley.
- Ferreira, A. S. (2021). Cidades inteligentes e sustentáveis: Análise e definições acerca da literatura. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(6), 512–521.  
<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0042>
- Ganho, N. (1998). *O clima urbano de Coimbra: Estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*[doctoral Thesis]. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/618>
- Global Climate and Energy Project. (2006). An Assessment of Solar Energy Conversion Technologies and Research Opportunities [GCEP Energy Assessment Analysis]. Stanford University. [https://gcep.stanford.edu/pdfs/assessments/solar\\_assessment.pdf](https://gcep.stanford.edu/pdfs/assessments/solar_assessment.pdf)
- Gonçalves, H., e Graça, J. M. (2004). Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal (DGGE / IP-3E). <https://core.ac.uk/download/pdf/70658245.pdf>
- Gröer, Étienne de. Ante-projecto de urbanização da cidade de Coimbra. 1aParte. (Peças Escritas). Edição da Câmara Municipal. Coimbra. 1948, p.20.
- Hartig, T., Mitchell, R., De Vries, S., e Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35(1), 207–228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
- He, J., Yang, Y., Liao, Z., Xu, A., e Fang, K. (2022). Linking SDG 7 to assess the renewable energy footprint of nations by 2030. *Applied Energy*, 317, 119167.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119167>
- IEA. (2021). Trends in photovoltaic applications 2021. <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/01/IEA-PVPS-Trends-report-2021-4.pdf>
- IPCC. (2019). Aquecimento Global de 1,5oC - Sumário para formuladores de políticas. IPCC e Governo do Brasil. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>
- IPCC. (2022). Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (1.a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157940>

- IRENA (2019), *Climate Change and Renewable Energy: National policies and the role of communities, cities and regions* (Report to the G20 Climate Sustainability Working Group - CSWG), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA. (2021). *Renewable Energy Statistics 2021*. International Renewable Energy Agency. <https://irena.org/publications/2021/Aug/Renewable-energy-statistics-2021>
- IRENA. (2022). *World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway*. International Renewable Energy Agency. <https://irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022/digitalreport>
- Joss, S. (2011). *Eco-cities: The mainstreaming of urban sustainability – key characteristics and driving factors*. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 6(3), 268–285. <https://doi.org/10.2495/SDP-V6-N3-268-285>
- Kochhar, R., Taylor, P., Wike, R., Stokes, B., e Bell, J. (2014, janeiro 30). Chapter 4. *Population change in the u. S. And the world from 1950 to 2050*. Pew Research Center's Global Attitudes Project. <https://www.pewresearch.org/global/2014/01/30/chapter-4-population-change-in-the-u-s-and-the-world-from-1950-to-2050/>
- Kweon, B.-S., Ellis, C. D., Lee, J., e Jacobs, K. (2017). *The link between school environments and student academic performance*. *Urban Forestry e Urban Greening*, 23, 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.02.002>
- Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (2022). *Portugal aprova a Lei do Clima*. <https://www.lneg.pt/portugal-aprova-a-lei-do-clima/>
- Lago, A. A. C. do. (2007). *Estocolmo, Rio, Joanesburgo: O Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas*. Instituto Rio Branco (IRBr): FUNAG, Fundação Alexandre de Gusmão.
- Lanham, A., Gama, P., e Braz, R. (2004). *Arquitetura Bioclimática Perspectivas de inovação e futuro* [Seminário]. *Seminários de Inovação*, Instituto Superior Técnico. [https://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio\\_Arq\\_Bioclimatica.pdf](https://www.gsd.inesc-id.pt/~pgama/ab/Relatorio_Arq_Bioclimatica.pdf)
- Letcher, T. M. (2020). *Introduction with a focus on atmospheric carbon dioxide and climate change*. Em *Future Energy* (pp. 3–17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102886-5.00001-3>

- Lim, Y., Edelenbos, J., e Gianoli, A. (2019). Identifying the results of smart city development: Findings from systematic literature review. *Cities*, 95, 102397. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102397>
- Loureiro, J., Castro, P., Alves, F., e Figueiredo, A. (2017). *Plano intermunicipal de adaptação às alterações climáticas da CIM- Região de Coimbra*. Comunidade Intermunicipal da Região de Coimbra. <https://www.cim-regiaodecoimbra.pt/wp-content/uploads/2018/10/PIAAC-CIM-RC-versão-web.pdf>
- Malthus, T. R., Winch, D., e James, P. (1992). *An essay on the principle of population, or A view of its past and present effects on human happiness: With an inquiry into our prospects respecting the future removal or mitigation of the evils which it occasions*. Cambridge University Press
- Marques, D., Ganho, N., e Cordeiro, A. M. R. (2008). Clima local e ordenamento urbano: O exemplo de Coimbra. *Cadernos de Geografia*, 26–27. [https://doi.org/10.14195/0871-1623\\_27\\_26](https://doi.org/10.14195/0871-1623_27_26)
- Masson-Delmotte, V. (2019). Global warming of 1.5°C: summary for policymakers. IPCC.
- Matthews, T., Lo, A. Y., e Byrne, J. A. (2015). Reconceptualizing green infrastructure for climate change adaptation: Barriers to adoption and drivers for uptake by spatial planners. *Landscape and Urban Planning*, 138, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.010>
- Meadows, D. H. e Club of Rome (Eds.). (1972). *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Universe Books.
- Moniz, G. C. (2007). *Arquitetura e instrução: O projecto moderno do liceu, 1836-1936*. E/d/arq.
- Moniz, G. C. e Cordeiro, A. M. R. (2019). A educação e a rede de equipamentos escolares no estado novo. *Obras Públicas no Estado Novo*, 225–250. [https://doi.org/10.14195/978-989-26-1894-4\\_9](https://doi.org/10.14195/978-989-26-1894-4_9)
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., Van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E., e Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>

- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., e Voogt, J. A. (2017). *Urban climates* (1.a ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Oliveira, L. (2018). A Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável – 2012 (Rio + 20): uma breve avaliação após cinco anos. The overarching issues of the european space - preparing the new decade for key socio-economic ..., Porto, Fac. Letras Univ. Porto. pp. 353 - 363
- ONU. (2022). 8 mil milhões de pessoas. Nações Unidas - ONU Portugal. [https://unric.org/pt/8-mil-milhoes-de-pessoas/\(novembro 14\)](https://unric.org/pt/8-mil-milhoes-de-pessoas/(novembro%2014))
- ONU. (25 de setembro de 2015). A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Obtido de Centro Regional de Informação para a Europa Ocidental, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: <https://globalcompact.pt/index.php/pt/agenda-2030>
- Palacin-Silva, M. V., Seffah, A., e Porras, J. (2018). Infusing sustainability into software engineering education: Lessons learned from capstone projects. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4338–4347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.078>
- Potrč, S., Čuček, L., Martin, M., e Kravanja, Z. (2021). Sustainable renewable energy supply networks optimization – The gradual transition to a renewable energy system within the European Union by 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111186. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111186>
- Rahman, M. A., Hartmann, C., Moser-Reischl, A., Von Strachwitz, M. F., Paeth, H., Pretzsch, H., Pauleit, S., e Rötzer, T. (2020). Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107947. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107947>
- Raposo, F. (2020, setembro 21). Águeda aposta em mobiliário urbano inteligente e tem já o primeiro banco que carrega dispositivos móveis. *Smart Cities*. <https://smart-cities.pt/noticias/smart-bench-agueda2109/>
- Remme, R. P., Frumkin, H., Guerry, A. D., King, A. C., Mandle, L., Sarabu, C., Bratman, G. N., Giles-Corti, B., Hamel, P., Han, B., Hicks, J. L., James, P., Lawler, J. J., Lindahl, T., Liu, H., Lu, Y., Oosterbroek, B., Paudel, B., Sallis, J. F., ... Daily, G. C. (2021). An ecosystem service perspective on urban nature, physical activity, and health. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(22), e2018472118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2018472118>

- Rochette, Gustavo (2021). Questões ético-jurídicas sobre o autoconsumo de energia. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 7 de Maio de 2021
- Rochette, Gustavo, e Santiago, M. (2021). “Uns são filhos, outros são enteados” Sobre a eventual inconstitucionalidade do regime do autoconsumo de energia elétrica do Decreto-lei n.º 162/2019 de 25 de outubro. [https://www.fd.uc.pt/cedipre/wp-content/uploads/pdfs/co/public\\_41.pdf](https://www.fd.uc.pt/cedipre/wp-content/uploads/pdfs/co/public_41.pdf)
- Rodrigues Peneda, M. (2020). A Escola da Democracia: Inovação no paradigma arquitetónico do edifício escolar [Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto]. <https://hdl.handle.net/10216/131525>
- Rodrigues, M. de L. (Ed.). (2014). 40 anos de políticas de educação em Portugal. Almedina.
- Romero, M. A. B. (2007). A arquitetura bioclimática do espaço público. Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- Rosmaninho, Nuno. O Poder da Arte. O Estado Novo e a Cidade Universitária de Coimbra. Dissertação de Doutoramento em História Contemporânea apresentada à Universidade de Coimbra. Faculdade de Letras. 2001. Versão multimédia. p.181.
- Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050. (2019). <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/documento?i=rroteiro-para-a-neutralidade-carbonica-2050->
- Rutt, R. L., e Gulsrud, N. M. (2016). Green justice in the city: A new agenda for urban green space research in Europe. *Urban Forestry e Urban Greening*, 19, 123–127. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.07.004>
- Santos, A. M. G. dos, Albuquerque, C., e Peneda, M. (2021). Transformação do Edifício Escolar 3x3: Requalificação, Evolução e Inovação. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/139921>
- Toli, A. M., e Murtagh, N. (2020). The concept of sustainability in smart city definitions. *Frontiers in Built Environment*, 6, 77. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00077>
- Toppeta, D. (2010). The smart city vision: How Innovation and ICT can build smart, “liveable”, sustainable cities. THINK!The Innovation Knowledge Foundatio. <https://documents.pub/document/the-smart-city-vision.html>



- Tralhão, F. (2012). Implementação de sistemas fotovoltaicos em Portugal versus nos Estados Unidos da América [Mestrado, Universidade de Coimbra]. <https://eg.uc.pt/bitstream/10316/99612/1/Filipe%20Manuel%20Brás%20Tralhão%20202115596%20MIEM.pdf>
- Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development | UN-DESA (2015). Obtido 4 de Agosto de 2022, de <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- United Nations (sem data). The 17 goals | sustainable development. Obtido 28 de Julho de 2022, de <https://sdgs.un.org/goals>
- UN Development Programme. (2019, Setembro 23). “Nature is angry.” Medium. <https://undp.medium.com/nature-is-angry-4361e1f732b4>
- UN-DESA (2023). world population prospects 2022: summary of results. united nations.
- UN-DESA, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3
- UN-DESA. (2018). The sustainable development goals report 2018 | multimedia library- <https://www.un.org/development/desa/publications/the-sustainable-development-goals-report-2018.html>
- UNEP. (2012) Sustainable, resource efficient cities-Making it happen. Paris: United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry and Economics.
- UNEP. (2018). The weight of cities—Resource requirements of future urbanization. Paris: International Resource Panel Secretariat.
- UN-Habitat. (2020). Relatório Mundial das Cidades 2020 . The Value of Sustainable Urbanization. [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/key\\_messages\\_summary\\_portuguese.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/11/key_messages_summary_portuguese.pdf)
- United Nations. (1972). United Nations Conference on the Human Environment(A/CONF.48/14/Rev.1). United Nations. <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972>
- Van Den Bosch, M., e Ode Sang, Å. (2017). Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. *Environmental Research*, 158, 373–384. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.040>

- Van Ness, P., Gurtov, M., e Suzuki, T. (Eds.). (2017). *Learning from Fukushima: Nuclear power in East Asia*. Australian National University Press.
- Van Velzen, C., e Helbich, M. (2023). Green school outdoor environments, greater equity? Assessing environmental justice in green spaces around Dutch primary schools. *Landscape and Urban Planning*, 232, 104687. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104687>
- Vanaken, G.-J., e Danckaerts, M. (2018). Impact of green space exposure on children's and adolescents' mental health: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2668. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122668>
- Veerkamp, C. J., Schipper, A. M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A., e Hanson, H. I. (2021). A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure. *Ecosystem Services*, 52, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>
- Washburn, D., e Sindhu, U. (2010). Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives. Forrester. [https://s3-us-west-2.amazonaws.com/itworldcanada/archive/Themes/Hubs/Brainstorm/forrester\\_help\\_cios\\_smart\\_city.pdf](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/itworldcanada/archive/Themes/Hubs/Brainstorm/forrester_help_cios_smart_city.pdf)
- Zheng, C., Yuan, J., Zhu, L., Zhang, Y., e Shao, Q. (2020). From digital to sustainable: A scientometric review of smart city literature between 1990 and 2019. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120689. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120689>