



**Universidade do Minho**  
Instituto de Ciências Sociais

Inês Brandão Pereira Barros

**Serviços ecossistémicos e planeamento baseado no desempenho: a reconversão da Pedreira da Madalena (Vila Nova de Gaia) como prova de conceito**





**Universidade do Minho**  
Instituto de Ciências Sociais

Inês Brandão Pereira Barros

**Serviços ecossistémicos e planeamento baseado no desempenho: a reconversão da Pedreira da Madalena (Vila Nova de Gaia) como prova de conceito**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Geografia  
Especialização em Sistemas de Informação Geográfica

Trabalho efetuado sob a orientação da  
**Professora Doutora Maria Manuela Laranjeira**  
e da  
**Professora Doutora Catarina de Almeida Pinheiro**

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

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

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

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

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



**Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgal**  
**CC BY-NC-SA**

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

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão desta dissertação de mestrado é resultado de uma longa e desafiante viagem académica, da engenharia à geografia, muitos foram os que contribuíram para que esta jornada culminasse com êxito. Assim sendo, este espaço é destinado a todos aqueles que, direta ou indiretamente, participaram e cooperaram para que esta viagem se convertesse numa conquista pessoal. Sem o meu 'trevo de quatro folhas' nada teria sido possível. Metaforicamente, aproveito para agradecer a cada folha que compõe esse trevo.

Em primeiro lugar e completando a primeira folha, agradeço às minhas orientadoras de mestrado, à Prof<sup>a</sup>. Doutora Maria Manuela Laranjeira e à Prof<sup>a</sup>. Doutora Catarina Pinheiro. Uma dupla imbatível que me acolheu e ajudou a ultrapassar todos os obstáculos desta viagem inédita. Obrigada pelo suporte inigualável e pela orientação meticulosa e responsável em diversos domínios, por mim até então desconhecidos.

A folha número dois está reservada para amigos e colegas, que de uma maneira ou de outra cruzaram a minha viagem e a tornaram mais agradável e promissora. Nesta secção, seria injusto não fazer um agradecimento especial aos meus dois bons velhos amigos. Obrigada pela amizade e companheirismo, desde o berço até à universidade, sem vocês nada teria o mesmo sentido.

A terceira folha está destinada a expressar o meu reconhecimento à família. Este é o momento de vos agradecer por toda a proteção e dedicação dispensadas ao longo de vários anos de evolução.

A última e quarta folha tem lugar cativo para os meus pais. Nem todas as palavras desta dissertação seriam suficientes para agradecer por tudo o que fizeram e continuam a fazer por mim. Agradeço-vos apenas de forma sucinta e genuína por toda esta aventura, que é vida.

Às pessoas do meu 'trevo de quatro folhas' dedico apenas uma palavra, oito letras e um sentimento - OBRIGADA.

Agradeço também a quem no presente, por algum motivo, se encontra a ler esta dissertação.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

### **SERVIÇOS ECOSISTÉMICOS E PLANEAMENTO BASEADO NO DESEMPENHO: A RECONVERSÃO DA PEDREIRA DA MADALENA (VILA NOVA DE GAIA) COMO PROVA DE CONCEITO**

A estrutura concetual dos serviços ecossistémicos (SE) revela-se pertinente na conciliação das necessidades urbanísticas com o desenvolvimento de um território multifuncional e resiliente. Contudo, a sua incorporação no processo de tomada de decisão é ainda incipiente, devido em grande parte à complexidade inerente aos SE, assim como consequência da carência de métodos e ferramentas operacionais. Por conseguinte, nesta investigação explora-se o potencial que o planeamento baseado no desempenho (PBD) poderá ter no processo em curso de reconversão da Pedreira da Madalena para uma área urbanizada, designadamente na maximização da performance de quatro SE urbanos de regulação - sequestro de carbono, melhoria da qualidade do ar, regulação microclimática e mitigação do ruído. Desde logo, os SE serão prestados tanto pela antiga área de extração mineira como pela sua envolvente imediata (500m).

A metodologia desenvolvida, com base em Geneletti *et al.* (2020), Derkzen *et al.* (2015) e Cortinovis e Geneletti (2020), integra duas ferramentas operacionais: o mapa da 'oferta combinada de SE' (áreas de produção e benefício) e o mapa da 'procura integrada de SE' (população sensível e áreas expostas). Ambos os mapas apoiam a tomada de decisão e conjugados com um sistema de pontuação permitem identificar quais as soluções baseadas no ecossistema mais necessárias e qual a sua localização preferencial.

O plano de reconversão da pedreira configura uma boa prova de conceito desta metodologia. Uma vez que, se esta transformação urbana for estruturada em função do máximo desempenho possível dos SE e não exclusivamente nos moldes urbanísticos tradicionais, poderá assistir-se a um ganho ambiental significativo. Refutando a tendência associada à maioria dos processos e formas de consolidação urbana. Deste modo, o suporte concetual dos SE, se articulado ao PBD, de natureza estratégica, pode constituir uma alternativa promissora ao regime prescritivo do zonamento.

**Palavras-chave:** Análise Espacial; Oferta e Procura; Planeamento Urbano; Recuperação Paisagística; Serviços de Regulação.

## **ABSTRACT**

### **ECOSYSTEM SERVICES AND PERFORMANCE - BASED PLANNING: THE CONVERSION OF MADALENA QUARRY (VILA NOVA DE GAIA) AS A PROOF OF CONCEPT.**

The conceptual structure of ecosystem services (ES) reveals itself relevant in balancing the urban needs with the development of a resilient multifunctional territory. However, its incorporation in decision making is still incipient due to the inherent complexity of ES as well as a lack of operational methods and tools. Therefore, the aim of this paper is to analyse the potential of Performance-Based Planning (PBP) in the ongoing process of converting the Madalena Quarry into an urbanized area, namely in the performance maximization of four urban regulation ES - carbon storage, air pollution removal, micro-climate regulation, and noise reduction. Therefore, the ES would be provided by both the former mining area and its immediate surroundings (500m).

The developed methodology, based on Geneletti *et al.* (2020), Derkzen *et al.* (2015), Cortinovis and Geneletti (2020), is composed of two operational tools: the 'combined ES supply' map (production and benefit areas) and the 'integrated ES demand' map (susceptible population and exposed areas). Both maps support decision making and, alongside a scoring system, enable the identification of most required ecosystem-based solutions as well as their preferred location.

The conversion plan of the quarry offers a proof-of-concept of this methodology. If this urban transformation is structured bearing in mind the optimal performance of ES and not exclusively in the conventional urbanistic approaches, we will be facing a meaningful environmental gain. Refuting common believes about most processes of urban consolidation. Hence, the ES background if associated to a PBP, characterized by its strategic nature, may constitute a promising alternative to the prescriptive zoning regime.

**Keywords:** Spatial Analysis; Supply and Demand; Urban Planning; Landscape Recovery; Regulation Services.

## ÍNDICE GERAL

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE.....	iv
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE GERAL .....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xvi
Introdução .....	1
Questões de partida, objetivos específicos, métodos e dados.....	3
Estrutura da dissertação.....	7
<b>PARTE I – ENQUADRAMENTO TEÓRICO E METODOLÓGICO .....</b>	<b>8</b>
1. Indústria extrativa .....	8
1.1. Impacte ambiental das pedreiras .....	9
1.2. Pedreiras abandonadas (passivos ambientais).....	11
1.3. Modelos de recuperação de pedreiras.....	13
1.4. Vazios consequentes da exploração .....	14
1.5. Escombrelas .....	16
1.6. Recuperação paisagística de pedreiras .....	18
2. Serviços ecossistémicos .....	23
2.1. Conceito e aplicação .....	23
2.2. Classificação dos serviços ecossistémicos .....	26

2.3. Valor dos serviços ecossistémicos.....	29
3. Planeamento urbano baseado no desempenho dos SE .....	34
3.1. Os SE de regulação no planeamento urbano.....	35
3.2. O planeamento baseado no desempenho - uma abordagem inovadora .....	37
3.3. Implementação do planeamento baseado no desempenho.....	39
3.4. A justiça ambiental e a sustentabilidade urbana .....	41
4. Metodologia Proposta .....	45
4.1. Etapa 1 – Caracterização da área de estudo.....	45
4.2. Etapa 2 – Mapas de ‘produção’ dos SE .....	49
4.3. Etapa 3 - Mapas de ‘benefício’ dos SE .....	59
4.4. Etapa 4 - Mapa da ‘oferta combinada de SE’ .....	64
4.5. Etapa 5 – Mapas de ‘procura’ dos SE.....	65
4.6. Etapa 6 - Mapa da ‘procura integrada de SE’ .....	68
4.7. Etapa 7 - Seleção de áreas amostra complementares para validação da metodologia .....	69
4.8. Síntese da metodologia .....	70
<b>PARTE II – ANÁLISE DOS SE NA PEDREIRA DA MADALENA E SUA ENVOLVENTE.....</b>	<b>72</b>
1. Caso de estudo: Pedreira da Madalena em Vila Nova de Gaia .....	72
1.1. A Pedreira da Madalena ao longo dos anos .....	72
1.2. Contexto geomorfológico e geológico .....	74
1.3. Enquadramento ambiental e ocupação da envolvente .....	78
1.4. Plano ambiental e de recuperação paisagística da Pedreira da Madalena.....	80
1.5. Resíduos depositados no aterro .....	85
1.6. Enquadramento legal e municipal .....	86
2. Oferta e procura dos SE na Pedreira da Madalena e sua envolvente .....	89
2.1. Produção dos SE eleitos na área de estudo .....	91
2.2. Benefício dos SE eleitos na área de estudo .....	96

2.3. Oferta combinada de SE na área de estudo .....	100
2.4. Procura dos SE eleitos na área de estudo .....	102
2.5. Procura integrada de SE na área de estudo .....	112
3. Avaliação do potencial da abordagem do planeamento baseado no desempenho na reconversão da Pedreira da Madalena.....	114
3.1. Análise por Grupos.....	114
3.2. Aplicação da metodologia à Pedreira da Madalena e a duas áreas complementares para validação .....	118
Considerações Finais.....	121
Referências Bibliográficas .....	127

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**AIA** AVALIAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL

**APA** AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE

**BGRI** BASE GEOGRÁFICA DE REFERENCIAÇÃO DE INFORMAÇÃO

**CAOP** CARTA ADMINISTRATIVA OFICIAL DE PORTUGAL

**CCDR** COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL

**CCDR-N** COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO NORTE

**CICES** COMMON INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES

**DRE-N** DIREÇÃO REGIONAL DA ECONOMIA DO NORTE

**EDM** EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO MINEIRO

**EPA** ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

**ES** ECOSYSTEM SERVICE

**EUA** ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

**EV** ESPAÇO VERDE

**GEE** GASES COM EFEITO DE ESTUFA

**MEA** MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT

**MQA** MELHORIA DA QUALIDADE DO AR

**MR** MITIGAÇÃO DO RUÍDO

**ONG** ORGANIZAÇÃO NÃO GOVERNAMENTAL

**PARP** PLANO AMBIENTAL E DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA

**PBD** PLANEAMENTO BASEADO NO DESEMPENHO

**PBP** PERFORMANCE - BASED PLANNING

**PDM** PLANO DIRETOR MUNICIPAL

**PM** PEDREIRA DA MADALENA

**PTP** PROGRAMA DE TRANSFORMAÇÃO DA PAISAGEM

**RCD** RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

**RM** REGULAÇÃO MICROCLIMÁTICA

**SC** SEQUESTRO DE CARBONO

**SE** SERVIÇO ECOSISTÉMICO

**SIG** SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

**SOLUSEL** SOCIEDADE LUSITANA DE OBRAS E EMPREITADAS

**TEEB** THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY

**TS** TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

**UA** URBAN ATLAS

**UE** UNIÃO EUROPEIA

**UOPG** UNIDADE OPERATIVA DE PLANEAMENTO E GESTÃO

**USGS** UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e delimitação da área de estudo [à esquerda] e da Pedreira da Madalena, segundo a Planta de Condicionantes (2018) do Plano Diretor Municipal [à direita]. .....	2
Figura 2 - Pedreiras inativas/abandonadas na região Norte em 2008. ....	12
Figura 3 - Relação entre a localização das pedreiras, a posição do observador, as barreiras arbóreas e o correspondente impacte visual.....	15
Figura 4 - Tipos de preenchimento dos vazios resultantes da exploração de pedreiras. ....	16
Figura 5 - Preenchimento dos vazios resultantes da exploração de pedreiras com recurso a material das escombrelas. ....	17
Figura 6 - Modelo da cascata dos serviços dos ecossistemas. ....	24
Figura 7 - Relações espaciais entre áreas de produção [P] e áreas de benefício [B] dos SE: 1- in situ; 2 - omnidirecional; 3 e 4 – direcional.....	29
Figura 8 - Abordagens utilizadas para a atribuição de valores aos serviços ecossistémicos .....	31
Figura 9 - Usos do solo presentes na área de estudo.....	46
Figura 10 - Representação dos tipos de cobertura do solo (da esquerda para direita: áreas edificadas e impermeabilizadas, solo nu, vegetação herbácea e arbustiva, vegetação arbórea). ....	47
Figura 11 - Representação esquemática <i>Street Canyon Effect</i> . ....	52
Figura 12 - Divisão esquemática da subsecção que engloba a Pedreira da Madalena. ....	66
Figura 13 - Delimitação das áreas amostra complementares para validação da metodologia. ....	69
Figura 14 - Quadro síntese da metodologia desenvolvida na presente dissertação.....	71
Figura 15 - Freguesias do concelho de V. N. de Gaia .....	72
Figura 16 - Gráfico do ‘Valor’ da Pedreira da Madalena no tempo, respetivo enquadramento histórico. ....	73
Figura 17 - Modelo digital de terreno da área a sul da Foz do Douro .....	75
Figura 18 - Esboço geológico regional da faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar, adaptado no setor entre a cidade de Vila Nova de Gaia e Aveiro. ....	76
Figura 19 - Localização da área em estudo, no contexto da Folha 9-C da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000.....	77
Figura 20 - Carta de Uso do Solo do concelho de V.N. Gaia, em 2018. ....	78
Figura 21 - Fotografia da Pedreira da Madalena em 1997 [modificada - Arquivo SOLUSEL]. ....	79
Figura 22 - Fotografia da Pedreira da Madalena em 1997 [Arquivo da SOLUSEL] .....	80

Figura 23 - Esquema dos tipos de intervenção na recuperação de minas e pedreiras a céu aberto (opções de enchimento).....	81
Figura 24 - Planta do projeto de reconversão dos espaços da Pedreira da Madalena, segundo o projeto da PROJETUD [Arquivo da SOLUSEL] .....	83
Figura 25 - Perfis do projeto da PROJETUD [Arquivo da SOLUSEL].....	83
Figura 26 - Distribuição dos usos do solo presentes na área de estudo pelas quatro categorias. ....	90
Figura 27 - Capacidade de produção do SE de sequestro de carbono na área de estudo. ....	92
Figura 28 - Capacidade de produção do SE de melhoria da qualidade do ar na área de estudo. ....	93
Figura 29 - Capacidade de produção do SE de regulação microclimática na área de estudo. ....	94
Figura 30 - Capacidade de produção do SE de mitigação do ruído na área de estudo. ....	95
Figura 31 - Avaliação do benefício do SE de sequestro de carbono na área de estudo.....	96
Figura 32 - Avaliação do benefício do SE de melhoria da qualidade do ar na área de estudo. ....	97
Figura 33 - Avaliação do benefício do SE de regulação microclimática na área de estudo. ....	98
Figura 34 - Avaliação do benefício do SE de mitigação do ruído na área de estudo. ....	99
Figura 35 - Articulação das etapas 2, 3 e 4.....	100
Figura 36 - Oferta combinada de SE na área de estudo. ....	100
Figura 37 - Número total de residentes e proporção de residentes pertencentes a grupos vulneráveis na área de estudo, por subsecção estatística.....	102
Figura 38 - Percentagem de crianças entre os 0 e 4 anos residentes na área de estudo, por subsecção estatística.....	103
Figura 39 - Percentagem de idosos com mais de 65 anos residentes na área de estudo, por subsecção estatística.....	104
Figura 40 - Número total de alojamentos na área de estudo, por subsecção estatística. ....	105
Figura 41 - Temperatura de superfície na área de estudo. ....	106
Figura 42 - Procura do SE de sequestro de carbono na área de estudo. ....	107
Figura 43 - Infraestruturas verdes presentes na área de estudo.....	108
Figura 44 - Procura do SE de melhoria da qualidade do ar na área de estudo.....	108
Figura 45 - Procura do SE de regulação microclimática na área de estudo.....	109
Figura 46 - Equipamentos suscetíveis à presença de ruído na área de estudo.....	110
Figura 47 - Procura do SE de mitigação do ruído na área de estudo.....	111
Figura 48 - Procura integrada de SE na área de estudo. ....	112
Figura 49 - Diagrama de quartis inerente ao mapa da 'procura integrada de SE'. ....	113

Figura 50 - Perfis de procura integrada de SE para os sete grupos ( <i>Z-scores</i> ).....	116
Figura 51 - Transformações urbanas selecionadas para validar a abordagem metodológica implementada (painel esquerdo) e respetivos mapas de 'oferta combinada de SE' (painel central) e de 'procura integrada de SE' (painel direito). ....	118
Figura 52 - Esquematização do emprego das Tabelas 16 e 18 da metodologia proposta: obtenção das classificações de 'desempenho necessário' [A] e da 'pontuação atribuída às ações' [C] para a área da Pedreira da Madalena (pertencente aos grupos 4 e 5 do mapa da procura integrada dos SE) [B]. ....	119
Figura 53 - Metodologia proposta: Ferramentas operacionais. ....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Objetivos, questões de partida e metodologia.....	4
Tabela 2 - Informação base: dados e fontes.....	6
Tabela 3 - Exemplos de recuperação de pedreiras.....	20
Tabela 4 - Classificação dos SE segundo MEA e exemplos comuns.....	28
Tabela 5 - Definição dos conceitos utilizados no âmbito do PBD.....	38
Tabela 6 - Distribuição dos usos do solo presentes na área de estudo pelas quatro categorias. ....	48
Tabela 7 - Serviços ecossistémicos em estudo .....	49
Tabela 8 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de ‘sequestro de carbono’ para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10. ....	51
Tabela 9 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de ‘melhoria da qualidade do ar’ para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10. ....	53
Tabela 10 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de ‘regulação microclimática’ para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10. ....	56
Tabela 11 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de ‘mitigação do ruído’ para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10. ....	58
Tabela 12 - Métodos para obtenção das áreas de benefício dos SE de regulação selecionados (valores normalizados para uma escala de 0 a 10).....	60
Tabela 13 - Valores de benefício adimensionais atribuídos ao SE de melhoria da qualidade do ar para as diferentes situações de cobertura do solo.....	61
Tabela 14 - Valores de benefício adimensionais atribuídos ao SE de regulação microclimática para as diferentes situações de cobertura do solo .....	62
Tabela 15 - Valores de benefício adimensionais atribuídos ao SE de mitigação do ruído para as diferentes situações de cobertura do solo .....	63
Tabela 16 - Níveis de desempenho ( <i>scores</i> ) necessários em função do impacto esperado sobre a atual oferta de SE. ....	64
Tabela 17 - Variáveis empregues na elaboração dos mapas de procura dos SE eleitos. ....	65
Tabela 18 - Pontuações atribuídas ( <i>scores</i> ) às ações baseadas no ecossistema em função dos níveis de prioridade dos SE visados. ....	68

Tabela 19 - Capacidade de produção dos SE de regulação selecionados por tipos de cobertura do solo (Valores normalizados para uma escala de 0 a 10) .....	91
Tabela 20 - <i>Score</i> de produção do SE de sequestro de carbono. ....	92
Tabela 21 - <i>Score</i> de produção do SE de melhoria da qualidade do ar. ....	93
Tabela 22 - <i>Score</i> de produção do SE de regulação microclimática. ....	94
Tabela 23 - <i>Score</i> de produção do SE de mitigação do ruído. ....	95
Tabela 24 - <i>Score</i> de benefício do SE de melhoria da qualidade do ar. ....	97
Tabela 25 - <i>Score</i> de benefício do SE de regulação microclimática. ....	98
Tabela 26 - <i>Score</i> de benefício do SE de mitigação do ruído. ....	99
Tabela 27 - Pontuações associadas às ações baseadas no ecossistema em função de cada SE para os sete grupos. ....	114

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1 - Edificabilidade máxima admitida pelo PDM de Vila Nova de Gaia para a área da Pedreira da Madalena. ....	88
---	----

## Introdução

O presente capítulo introdutório procura contextualizar sucintamente o conteúdo da dissertação em que se insere. Apresenta de igual modo as questões de partida, os objetivos específicos, os métodos empregues, a proveniência dos dados utilizados, a estrutura organizacional da dissertação e o enquadramento da área em estudo, que serve de base à análise espacial.

A estrutura concetual dos SE é oportuna para conciliar as necessidades urbanísticas com a promoção de um território polivalente e resiliente. Todavia, a sua incorporação no processo de tomada de decisão é ainda pouco usual, sendo sobretudo consequência da complexidade intrínseca dos SE, também relacionada com a escassez de métodos e ferramentas operacionais.

Segundo Cortinovis e Geneletti (2020), o PBD pode oferecer uma alternativa ao regime prescritivo de planeamento. O PBD, surgiu aproximadamente em 1970 nos municípios dos Estados Unidos da América (EUA), mas foi principalmente aplicado na Austrália e na Nova Zelândia no decorrer da década de 90 (Baker *et al.*, 2006), esta abordagem visionária concentra-se sobretudo nos resultados de implementação dos planos (Cortinovis & Geneletti, 2020). Neste sentido, a ênfase é dada à vertente estratégica (Baker *et al.*, 2006), através da definição de objetivos de longo prazo e de planos para os alcançar.

Assim sendo, neste caso de estudo averigua-se o potencial que o PBD poderia incluir no processo de reconversão paisagística da Pedreira da Madalena para área urbanizada, com o propósito de maximizar a performance de quatro SE urbanos de regulação - nomeadamente, sequestro de carbono, melhoria da qualidade do ar, regulação microclimática e mitigação do ruído -, fornecidos tanto pela antiga área de extração como pela sua área circundante.

A Pedreira da Quinta do Moinho n.º 2, ou Pedreira da Madalena, situa-se na freguesia de Canidelo, no concelho de Vila Nova de Gaia. Para além da antiga área de extração (≈30ha), neste trabalho considera-se também a sua envolvente imediata, num *buffer* de 500 m, o que perfaz um total de 228ha, aproximadamente (Figura 1). A extração de rocha granítica, iniciada em 1971, cessou em definitivo em 2013 (Rebelo *et al.*, 2015), encontrando-se presentemente a decorrer atividades de deposição de resíduos inertes em ambiente de aterro devidamente licenciado (Guedes, 2020), conforme determinado no Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística. O interesse posterior prende-se com a reconversão da outrora superfície de extração para uma 'Área de Expansão Urbana de Tipologia Mista' (Plano Diretor Municipal de Vila Nova de Gaia, 2009).

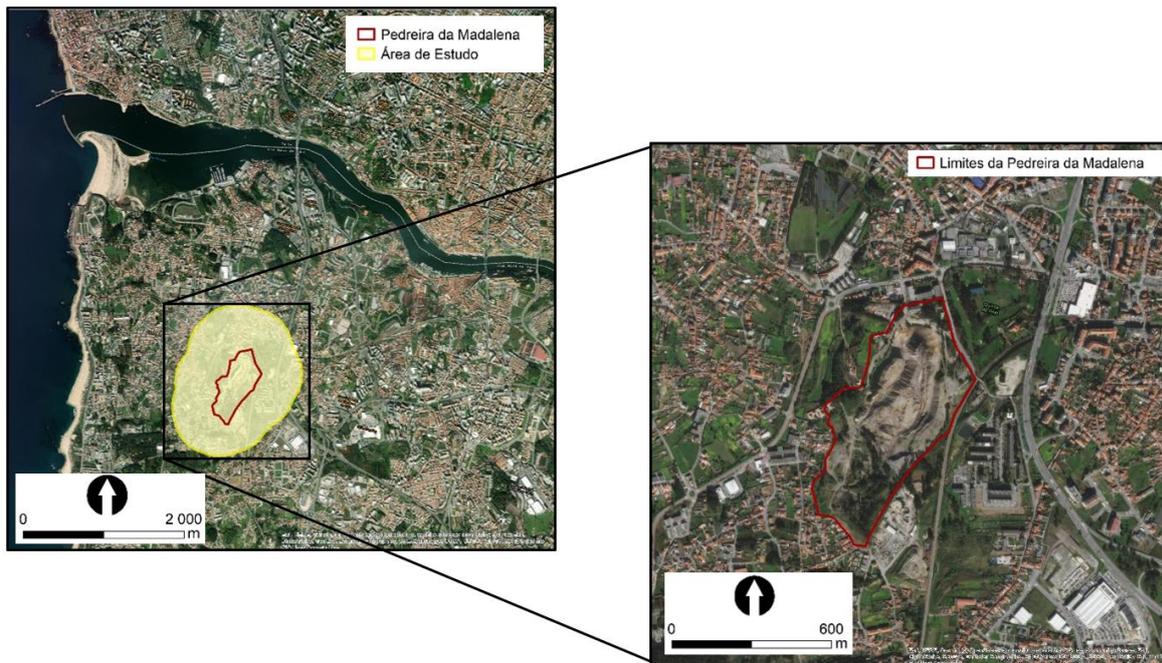


Figura 1 - Localização e delimitação da área de estudo [à esquerda] e da Pedreira da Madalena, segundo a Planta de Condicionantes (2018) do Plano Diretor Municipal [à direita].

A metodologia proposta, com base nos procedimentos adotados em Geneletti *et al.* (2020), Derkzen *et al.* (2015) e Cortinovis e Geneletti (2020), recorre a duas ferramentas operacionais: o mapa da 'oferta combinada de SE', derivado do estudo das áreas de produção e de benefício, e o mapa da 'procura integrada de SE', resultante da análise de variáveis representativas da população sensível e das áreas expostas. Os dois mapas permitem auxiliar a tomada de decisão, apoiando a eleição das soluções baseadas na natureza mais adequadas e a sua localização preferencial. O projeto de reconversão da Pedreira da Madalena pode refletir uma boa prova de conceito da abordagem metodológica, pois se esta transformação urbana fosse realizada com o intuito de obter o máximo desempenho possível dos SE, que atualmente é relativamente baixo para área em estudo, e não focando unicamente nos moldes de planeamento urbanísticos tradicionais, observar-se-ia a um incremento ambiental considerável, contrariando a propensão muitas vezes associada à maioria dos processos e modelos de consolidação urbana.

## **QUESTÕES DE PARTIDA, OBJETIVOS ESPECÍFICOS, MÉTODOS E DADOS**

O propósito desta dissertação passa por investigar o potencial que os SE, em conjunto com o PBD, poderiam ter na reconversão paisagística de uma antiga área de extração mineira, especialmente na melhoria do desempenho de quatro SE de regulação, ou seja, averiguar de que modo uma transformação urbana poderia potenciar os SE locais e assim promover o bem-estar humano, que se traduz em benefícios e conseqüentemente em valores para a sociedade.

A Tabela 1 permite dar a conhecer os objetivos específicos que conduzem esta dissertação, sendo que para cada um se indicou as respetivas questões de partida, bem como a metodologia de investigação para os atingir.

Tabela 1 - Objetivos, questões de partida e metodologia [continua].

<b>OBJETIVO 1</b>	
Estimar a <b>oferta</b> dos SE - sequestro de carbono, melhoria da qualidade do ar, regulação microclimática e mitigação do ruído - na Pedreira da Madalena e sua envolvente.	
<b>Questões de Partida</b>	<b>Metodologia</b>
Quais as áreas de produção e de benefício dos SE na área de estudo, tendo em conta os diferentes usos do solo?	Identificação das áreas de produção e de benefício, com base na aplicação de <b>valores e métodos padronizados</b> empregues noutros estudos científicos à escala urbana (Geneletti <i>et al.</i> , 2020; Derkzen <i>et al.</i> , 2015) e o recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG).
Como se caracteriza a oferta combinada de SE da área de estudo, de acordo com diferentes níveis de prestação?	<b>Sintetização</b> dos dados das áreas de produção e de benefício, previamente obtidos, de acordo com a metodologia proposta por Cortinovis e Geneletti (2020).
<b>OBJETIVO 2</b>	
Estimar a <b>procura</b> dos SE na Pedreira da Madalena e sua envolvente.	
<b>Questões de Partida</b>	<b>Metodologia</b>
Quais as variáveis (população sensível e áreas expostas) que influenciam a procura dos SE?	Análise de <b>situações exemplificativas</b> em estudos académicos. Recolha e tratamento de dados estatísticos dos Censos 2011, ao nível da subsecção, e de imagens de satélite (deteção remota). Elaboração de cartografia descritiva através de um SIG.
Como se caracteriza a procura integrada de SE, em função de diferentes graus de necessidade?	Determinação de <b>perfis similares</b> de procura, ao nível da subsecção. Recurso à estatística espacial, desenvolvida num SIG, que permite agrupar os dados disponíveis em clusters. Aplicação da metodologia de Cortinovis e Geneletti (2020).

Tabela 1 - Objetivos, questões de partida e metodologia [continuação].

<b>OBJETIVO 3</b>	
Avaliação do <b>potencial da abordagem</b> do PBD na reconversão da Pedreira da Madalena.	
<b>Questões de Partida</b>	<b>Metodologia</b>
<p>Como se caracteriza a área de estudo quanto aos níveis de desempenho necessários a um projeto de urbanização em função do impacto esperado sobre a oferta de SE?</p> <p>Quais as ações baseadas no ecossistema a priorizar na área de estudo, tendo em conta os perfis de procura de SE?</p>	<p>Aplicação da metodologia de Cortinovis e Geneletti (2020) ao caso de estudo, a partir dos mapas de 'oferta combinada de SE' e de 'procura integrada de SE' para a área em análise.</p>
<p>Qual o contributo da metodologia proposta para a reconversão da Pedreira da Madalena?</p>	<p><b>Análise crítica</b> e definição de estratégias para a maximização dos SE.</p>

O desenvolvimento da componente empírica da dissertação apoiou-se, exclusivamente, em fontes de dados secundários que foram objeto de tratamento e análise espacial em SIG. Neste sentido, a Tabela 2 resume os dados utilizados, bem como a fonte de informação respetiva.

Tabela 2 - Informação base: dados e fontes.

Dados	Fontes
Usos do solo	Urban Atlas, 2018 (em formato <i>shp</i> ). Obtido em <a href="https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas">https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas</a>
Limites Administrativos	Carta Administrativa Oficial de Portugal, 2016 (em formato <i>shp</i> ) – (CAOP, 2016)
Fotografia Aérea	Google Earth, 2021
População (nível de subsecção) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Total de indivíduos residentes</li> <li>• Indivíduos residentes com idade entre 0 e 4 anos</li> <li>• Indivíduos residentes com idade superior a 65 anos</li> </ul>	Base Geográfica de Referenciação de Informação, 2011 (em formato <i>shp</i> ) - (BGRI, 2011). Censos de 2011 obtido em <a href="http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml">http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml</a>
Alojamentos (nível de subsecção) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Total de alojamentos</li> </ul>	
Temperatura de Superfície	Satélite <i>Landsat 8 OLI</i> , de 5 de agosto de 2018, obtido em U.S. Geological Survey (USGS) <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Plantas de Ordenamento e de Condicionantes	Plano Diretor Municipal (PDM) - Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia (GAIURB). Obtido em <a href="https://www.gaiurb.pt/p/pdm">https://www.gaiurb.pt/p/pdm</a>

## **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação de mestrado encontra-se estruturada em duas partes que, por sua vez, estão subdivididas em capítulos. Na primeira parte, efetua-se um enquadramento teórico e metodológico das temáticas em análise, sendo que como ponto de partida explora-se o contexto e panorama da indústria extrativa, com o intuito de dar a conhecer as circunstâncias do sector que serviu de base à definição da área de estudo. Prossegue-se com a apresentação de um quadro teórico relativo ao tema dos SE, tópico fulcral desta dissertação, segundo o qual se define o objetivo central de estudo - a maximização de quatro SE de regulação. Seguidamente, avança-se para uma integração explicativa da abordagem do PBD, advogado como uma alternativa promissora ao planeamento prescritivo na gestão do processo de urbanização. Por fim, ainda nesta primeira parte, explicita-se a proposta metodológica prosseguida para alcançar o propósito desta investigação.

A segunda parte centra-se na análise dos resultados obtidos na área de estudo da Pedreira da Madalena e sua envolvente. Para tal, inicia-se uma apresentação do caso de estudo, no sentido de conceder dados base sobre a antiga área de extração, objeto principal de reconversão e transformação. Posteriormente, analisam-se a oferta e a procura dos SE na área de estudo, que culminam na obtenção das duas ferramentas operacionais de suporte da metodologia proposta – os mapas da ‘oferta combinada de SE’ e da ‘procura integrada de SE’. No último capítulo da segunda parte, realiza-se uma apreciação do potencial da abordagem do PBD na reconversão da Pedreira da Madalena, com efeito recorre-se a duas áreas amostra complementares para validação da metodologia. Por fim, avalia-se a capacidade que os SE, associados ao PBD, têm na transformação urbana da pedreira, particularmente na otimização do desempenho de quatro SE eleitos.

## **PARTE I – ENQUADRAMENTO TEÓRICO E METODOLÓGICO**

### **1. INDÚSTRIA EXTRATIVA**

O presente capítulo remete para um breve enquadramento do sector da indústria extrativa, sendo que a sua atividade ou o fim dela é responsável pela definição do caso de estudo desta dissertação. Assim sendo, e porque o local de análise coincide com uma antiga área de extração a céu aberto de rocha granítica no Norte de Portugal (Pedreira da Madalena), neste capítulo faz-se uma contextualização do panorama da indústria extrativa, incluindo subtemas como os impactes ambientais, o caso das explorações abandonadas (passivos ambientais), modelos de recuperação de pedreiras, abordagem aos vazios consequentes da exploração e respetivas escombreciras e por fim, a apresentação de alguns exemplos de recuperação de áreas de extração mineira.

A indústria extrativa é uma atividade de exploração que abrange o reconhecimento, preparação e extração do minério bruto do solo, assim como o tratamento e sua transformação (Gonçalves, 2014; Costa, 2018). A exploração de uma pedreira é uma atividade industrial que, resumidamente, abrange um conjunto de operações de movimentação de terras e/ou rochas, perfuração e desmonte com o objetivo de obter uma massa mineral, para que posteriormente suceda a sua transformação e valorização como matéria-prima industrial ou rocha ornamental (SIMPLEX, 2016).

Segundo a legislação em vigor, uma pedreira é “o conjunto formado por qualquer massa mineral objeto do licenciamento, pelas instalações necessárias à sua lavra, área de extração e zonas de defesa, pelos depósitos de massas minerais extraídas, estéreis e terras removidas e, bem assim, pelos seus anexos” (Decreto-Lei nº 340/2007, de 12 de outubro, p. 7338).

Desde sempre é evidente a importância que a utilização dos recursos naturais tem para o desenvolvimento económico, tecnológico, social e cultural da humanidade. No decurso da evolução da humanidade, o consumo de matérias-primas minerais sempre foi um dos principais indicadores de desenvolvimento da sociedade.

Em 1865, o geólogo Bernhard von Cotta afirmava que: “Acredito que a superfície atual da Terra, com todas as suas formas individuais, tem vindo a ser gradualmente desenvolvida numa relação recíproca entre o Homem e a Natureza” (Costa, 2007, p. 2). A afirmação reforça a realidade histórica dos impactes ambientais sofridos e produzidos pela Humanidade. Esta relação entre o Homem e a Natureza tem evoluído de uma forma cada vez mais rápida, a magnitude dos efeitos das atividades humanas no ambiente tem revelado uma relação diretamente proporcional ao crescimento económico (Costa, 2007). Alguns autores defendem que a separação entre os conceitos ‘conservação dos recursos’ e

‘desenvolvimento económico’ está na base do desencadeamento dos grandes desequilíbrios ambientais da nossa Era. Por norma, os desequilíbrios ambientais tendem a acontecer em cadeia, numa interação entre riscos naturais e riscos incitados pela ação antropogénica (Costa, 2007).

A consciencialização sobre os problemas ambientais origina novas políticas e conceitos, perspetivando todo o crescimento socioeconómico. A defesa do ambiente torna-se cada vez mais relevante, sendo elementar a utilização racional de recursos, a gestão de energia e da água, a utilização de tecnologias mais limpas e menos poluentes, o destino dos resíduos, entre outras respostas à problemática ambiental. O desenvolvimento sustentável só será alcançável com a compatibilização do binómio ‘crescimento socioeconómico’ e ‘defesa do ambiente’.

### **1.1. IMPACTE AMBIENTAL DAS PEDREIRAS**

O conceito de ‘impacte ambiental’ assenta num conjunto de alterações favoráveis e/ou desfavoráveis produzidas no ambiente, sobre determinados fatores, num determinado período de tempo e área, decorrentes da realização de um projeto, o impacte é avaliado quando comparada a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se o projeto não viesse a ter lugar (Fernandes, 2015).

A atividade de uma pedreira, cuja a exploração é feita a céu aberto, ou seja, está em contacto direto com o ar livre, interfere com os sistemas naturais, causando desequilíbrios e originando paisagens com reduzido valor estético, caso não sejam implementadas medidas de minimização e correção adequadas ao local e às atividades desenvolvidas (Martins & Sousa, 2012).

Segundo Kraemer (2000), entende-se por impacte ambiental qualquer transtorno que se verifique na área de estudo e meio envolvente, ao nível das componentes ambientais em análise, e que suceda de forma direta ou indireta dos trabalhos executados (Gonçalves, 2014). Os impactes ambientais provocados pelas pedreiras surgem em diversos contextos e encontram-se subdivididos em diferentes fatores ambientais, fatores esses que estão interligados entre si. Posto isto, as medidas de minimização de impactes quando implementadas têm efeitos complementares, visto que os benefícios gerados não são exclusivos do fator ambiental para que foram aplicadas (Costa, 2018).

No sector da indústria extrativa, a consciencialização ambiental tem assumido um papel cada vez mais relevante, que se reflete na introdução de novas medidas para promover a integração da componente ambiental no seu funcionamento, como por exemplo (Fernandes, 2015):

- Incorporação de Sistemas de Gestão Ambiental – Estrutura organizacional que possibilita à empresa estimar e conferir os impactes ambientais das suas atividades, produtos ou serviços.

- Produção limpa – Corresponde a uma ação preventiva que visa evitar ou diminuir a formação de resíduos durante o processo produtivo.
- Ecoeficiência – Conceito que introduz uma ferramenta preventiva em que o processo para produção é ininterruptamente monitorizado e são identificadas todas as fontes de uso de água, energia e materiais, que poderão estar a gerar desperdícios.
- Responsabilidade Social Corporativa – Remete para a atitude e comportamento da organização face às instâncias sociais. Depois de cumpridas as prescrições de leis e de contratos, constitui uma resposta da organização de acordo com as necessidades da sociedade.
- Avaliação de Impactes Ambientais – Traduz-se por um conjunto de processos cujo objetivo é garantir uma consideração apropriada dos fatores ambientais e sociais nos processos de tomada de decisão de empreendimentos de desenvolvimento.

Um projeto mineiro origina sempre benefícios e/ou prejuízos na região onde ele está implementado, influencia fatores sociais, económicos, culturais, ecológicos ou ambientais. Os impactes negativos são suscetíveis de medidas preventivas ou minimizadoras, a fim de atenuar o valor absoluto do impacte e até promover a sua anulação. Neste contexto, são variadíssimos os impactes significativos associados a um projeto mineiro, seguidamente são enumerados alguns impactes exemplificativos (Fernandes, 2015).

- Transgressão de padrões de qualidade do ambiente estabelecidos pelo governo.
- Perturbação nos Planos Regionais de Ordenamento, Planos Diretores e Zonas de Reserva específicas.
- Poluição visual da paisagem.
- Deterioração da qualidade da água para consumo público, superficial ou subterrânea.
- Alteração na recarga de aquíferos.
- Ocorrência da erosão de solo.
- Aumento dos riscos para a saúde pública.

Estes fatores elucidativos são apenas uma pequena amostra dos impactes que devem ser estudados e analisados na realização de um Estudo de Impacte Ambiental, existindo ainda uma enorme diversidade de implicações que podem e devem requerer atenção dos técnicos aquando da elaboração do estudo dos impactes ambientais de uma pedreira (Fernandes, 2015).

## **1.2. PEDREIRAS ABANDONADAS (PASSIVOS AMBIENTAIS)**

A indústria extrativa é responsável por vários passivos ambientais, resultado do seu impacto em diversas áreas, como na paisagem, no solo, na água, na fauna e na flora. O grau dos impactos pode variar conforme as características morfológicas e ecológicas do local, os materiais extraídos, os processos utilizados, a permeabilidade do solo, o enquadramento geográfico e conseqüentemente a visibilidade do local (CCDR-N segundo Costa, 2018). O passivo ambiental corresponde ao valor do investimento necessário para reabilitar e compensar os danos provocados ao meio ambiente e às populações.

Na exploração a céu aberto, nomeadamente no caso das pedreiras, estas são consideradas como passivos ambientais quando abandonadas ou inativas, isto é, quando cessa a sua fase de exploração ou após o término das fases de pesquisa e prospeção, quando a exploração é suspensa num período superior a dois anos ou quando o explorador adquire uma autorização prévia da entidade licenciadora para a suspensão das suas atividades (SIMPLEX, 2016; Guiomar, 2005). Nesta condição, o explorador deve implementar as medidas de segurança e recuperação paisagística (Figueiredo, 2001). As pedreiras abandonadas são uma das maiores causas de degradação ambiental da indústria extrativa a longo prazo, acabando por conduzir a uma desconfiança generalizada em relação à indústria extrativa (EDM, 2011). Atualmente é possível encontrar várias organizações e empresas que têm como objetivo reduzir o número de pedreiras abandonadas ou inativas, como é o caso da Empresa de Desenvolvimento Mineiro (EDM), promovendo a recuperação ambiental das zonas mineiras degradadas, pedreiras abandonadas que necessitam de intervenção ambiental e áreas de prospeção mineira que, embora abandonadas em estado embrionário, carecem de intervenção ao nível da segurança e prevenção de acidentes. A EDM tem destacado as suas funções para os casos das pedreiras abandonadas, tendo apresentado uma intervenção mais direta, nas vertentes ambientais, paisagísticas e de segurança, através da realização de um Programa para a Recuperação de Antigas Pedreiras Abandonadas e Minas (CCDR-N segundo Costa, 2018). Segundo a Direção Regional da Economia do Norte (DRE-N) e a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N), em 2008, subsistiam cerca de 153 pedreiras abandonadas ou inativas, dispersas pelos concelhos da região Norte, em que cerca de 77,1%, ou seja, 118 eram pedreiras de granito (CCDR-N segundo Costa, 2018). O mapa da Figura 2, elaborado pela CCDR-N, representa o número de pedreiras inativas ou abandonadas por concelho no Norte do país, em 2008.

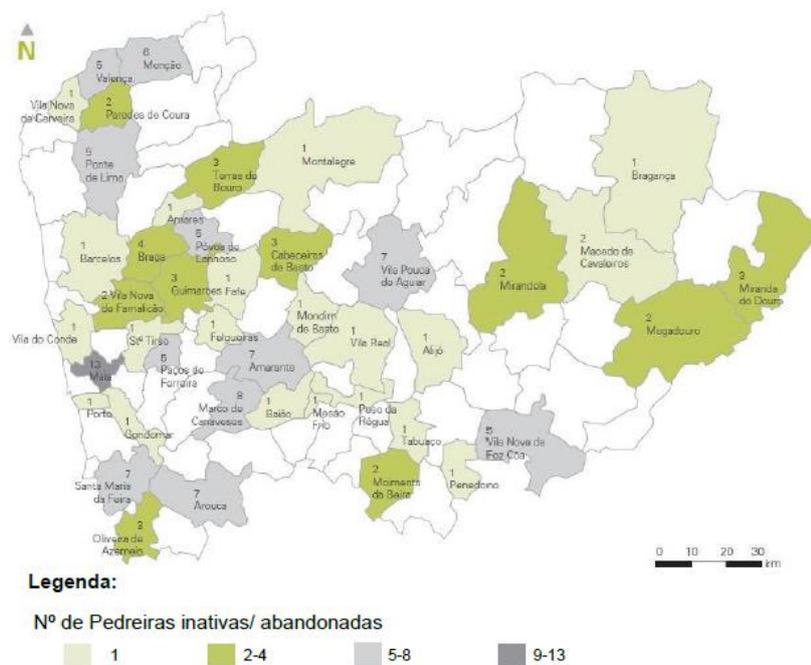


Figura 2 - Pedreiras inativas/abandonadas na região Norte em 2008.

(Fonte: CCDR-N segundo Costa, 2018).

A hierarquização e a caracterização das intervenções são elementos importantes para estabelecer o tipo de impacto e os custos de recuperação, uma vez que estes podem apresentar valores muito díspares. Posteriormente, torna-se essencial examinar a segurança, os impactos visuais e paisagísticos e os transtornos provocados nas populações (Valadares, 2016). As explorações que causam um maior impacto são as pedreiras de média e grande dimensão. Desta forma, a hierarquização e a inventariação são uma mais-valia para a minimização dos impactos nas intervenções de requalificação nas diferentes componentes: ambiental (solo, água e ar), paisagística (visual e vegetação), segurança (geotécnica e riscos para pessoas, animais e bens), social (afetação das pessoas e usos do solo) e económica (importância para a região, concelho, etc.) (Valadares, 2016).

Nestes casos, as autarquias têm um papel crucial, sendo que compete então à EDM a intervenção nos seguintes parâmetros (Valadares, 2016).

- Elaboração de projetos para requalificar os terrenos.
- Realização de um inventário com a localização das pedreiras com o nível de abandono de cada concelho.
- Promover o uso das áreas recuperadas.
- Articulação com os Planos Diretores Municipais (PDM).
- Delinear objetivos de dinamização industrial, cultural e museológica.

- Articulação ao nível da demonstração da propriedade dos terrenos.

Um dos principais desafios do desenvolvimento sustentável da indústria extrativa passa por criar, em alternativa, uma indústria viável, diversificada e sustentável, sem sujeitar as condições ambientais, sociais e culturais locais com consequências e impactos negativos, e que possa subsistir para lá dos recursos minerais terem sido explorados e se terem esgotado. Se a riqueza gerada pelas operações não for utilizada eficazmente e corretamente na criação e desenvolvimento de situações de vida alternativas e sustentáveis o legado da mina pode e deve ser questionável (EDM, 2011). Atendendo ao paradigma atual do desenvolvimento orientado para a sociedade, o sector da indústria extrativa só pode ser por ela aceite quando promove a melhoria das condições sociais, económicas e ambientais (EDM, 2011).

### **1.3. MODELOS DE RECUPERAÇÃO DE PEDREIRAS**

O termo 'recuperação' pode compreender variadíssimas aplicações quando empregue ao sector da extração mineira, os seus objetivos fundamentais incluem a estabilização do terreno, a garantia de segurança pública, o melhoramento estético e a criação de um espaço com utilidade (Bastos & Silva, 2006). Os modelos de recuperação podem ser agrupados em três categorias, em função do grau de intervenção, sendo eles a restauração, a reabilitação e a reconversão.

O modelo da restauração pretende reconstituir o estado original da zona degradada pela pedreira. Depois do término da exploração serão removidas as causas diretas da degradação ambiental, e desta forma promove-se a reposição da situação preexistente (Correia & Sousa, 2012). Ou seja, procura devolver à natureza o ambiente original da zona afetada, isto é, restituir o seu estado original.

A reabilitação assume uma alteração paisagística e procura produzir um ecossistema alternativo compatível com a envolvente. As medidas adotadas tenderão a aproximar a zona afetada o mais possível da situação ideal, antes da exploração. Este tipo de modelo é o mais frequente em pedreiras e assenta principalmente na revegetação ou florestação das áreas afetadas (Correia & Sousa, 2012). A reabilitação pressupõe uma recuperação das funções e processos naturais dentro do contexto da perturbação. (Bastos & Silva, 2006).

Existe ainda a opção da reconversão em que também pode ocorrer a reutilização da zona afetada, mas neste caso a implementação do projeto pode conduzir a uma utilização do espaço com funções distintas daquelas que existiam inicialmente, sem a preocupação de reposição do ecossistema autóctone, não sendo por isso imposta a revegetação. As pedreiras que conservam a sua atividade durante um longo período de tempo, por vezes sofrem uma mudança no seu enquadramento geográfico com a expansão dos núcleos urbanos outrora muito distantes. Existem diversos exemplos de antigas pedreiras que

atualmente contribuem para o bem-estar dos habitantes locais ao serem reconvertidas em espaços verdes, parques de recreio, campos para prática de atividades radicais, campos de futebol, entre outros. Independentemente do modelo de recuperação eleito, este deve ajustar-se às necessidades da zona envolvente e não perturbar o ambiente. Porém, as soluções para a recuperação das pedreiras dependem de duas condições: a consonância das entidades locais e um valor de recuperação suportável (Correia & Sousa, 2012).

Como foi anteriormente referido, a reabilitação é a solução mais adotada na recuperação de antigas áreas de extração, sendo muitas vezes a solução mais simples e a que reúne maior consenso por parte das entidades licenciadoras. A restauração torna-se por vezes muito difícil ou mesmo inviável, uma vez que é extremamente complicado repor a topografia original e o perfil de solo, porque foram retiradas enormes quantidades de material que dificilmente serão repostas na totalidade. Geralmente, esta medida só se justifica quando a qualidade do meio ambiente original é bastante importante (Correia & Sousa, 2012). A reconversão é limitada pela inexistência de usos futuros para os espaços, consignados nos instrumentos de ordenamento de território atuantes sobre a área, e pela falta de expectativas concretas futuras por parte de projetistas e promotores, assim como escassez de poder económico para a concretização das obras necessárias. Contudo, trata-se de um modelo a ponderar, a reconversão apresenta uma enorme importância, uma vez que além dos benefícios ecológicos, socioculturais e de bem-estar para as populações locais, alguns dos resultados podem ser rentáveis, como por exemplo campos de golfe, de ténis, de futebol, hotéis ou zonas turísticas. No entanto, existem diversos condicionalismos face aos vários tipos de aproveitamento das áreas da indústria mineira que levam a adoção da solução ambiental, social e economicamente mais apropriada (Correia & Sousa, 2012).

#### **1.4. VAZIOS CONSEQUENTES DA EXPLORAÇÃO**

As depressões ocasionadas pela exploração mineira são inevitáveis. Como esquematizado na Figura 3, as pedreiras localizadas em flancos de encosta têm um impacto visual muito superior às localizadas em zonas planas, como é o caso da Pedreira da Madalena em Vila Nova de Gaia (zona plana). Existem diversas medidas de recuperação ambiental e paisagística que devem ser tomadas após o término da exploração da pedreira, tendo em consideração, o modelo de recuperação, o uso escolhido, o tipo de pedreira e a área que se pretende recuperar (Correia & Sousa, 2012). Desta forma, podem-se destacar quatro formas de ocupar os vazios resultantes da exploração.

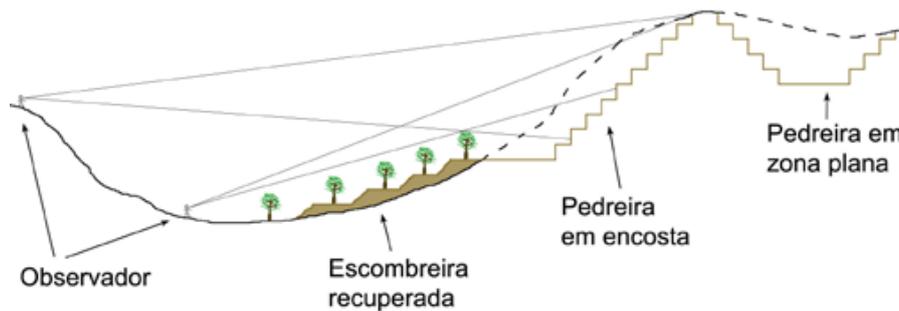


Figura 3 - Relação entre a localização das pedreiras, a posição do observador, as barreiras arbóreas e o correspondente impacto visual.

(Fonte: Correia & Sousa, 2012).

- Enchimento Completo (Renivelamento)

Tem como objetivo alcançar superfícies finais com um aspeto mais natural e conter um substrato adequado para receber solo fértil para a vegetação. Neste caso, ocorre o enchimento completo do vazio resultante da escavação. Este enchimento pode ser feito através de resíduos da exploração e dependendo do objetivo final com o solo adequado (Correia & Sousa, 2012).

- Enchimento Parcial

Este tipo de ocupação ocorre quando a quantidade de resíduos disponível não é satisfatória para o preenchimento total da escavação nem é possível aproveitar materiais de outros locais. Assim realiza-se o enchimento parcial em diferentes etapas. Normalmente, aplica-se a reabilitação por revegetação, no entanto se a área estiver localizada perto de uma zona urbana pode ocorrer a reconversão do local para uso urbanístico, industrial, recreativo, desportivo, entre outros (Correia & Sousa, 2012).

- Ausência de preenchimento

Nesta situação sucede apenas o tratamento das superfícies originadas pela exploração, aproveitando os desníveis criados. Os métodos de tratamento resumem-se em sanear as zonas instáveis ou suprimir algumas irregularidades, de forma a garantir a estabilidade do maciço. Estas soluções menos dispendiosas, encontram-se no domínio da reconversão, frequentemente estes locais originam áreas de lazer, reservatórios para água ou aterros (Correia & Sousa, 2012).

- Abandono Controlado

Este último caso não é de todo uma solução recomendada, mas quando existem pedreiras de pequenas dimensões e que não possuem viabilidade económica para uma solução de restauração ou reconversão,

poderá recorrer-se a um processo de regeneração natural. Contudo, é necessário controlar para garantir a segurança de pessoas e animais e evitar que se transforme num local de deposição de resíduos diversos (Correia & Sousa, 2012).

A Figura 4 representa graficamente as diferentes formas de preenchimento dos vazios resultantes da atividade da indústria mineira: enchimento completo, reduzido ou parcial e ausência de preenchimento.

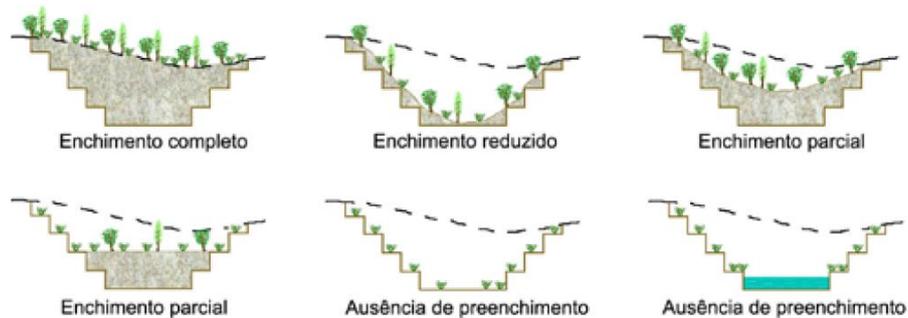


Figura 4 - Tipos de preenchimento dos vazios resultantes da exploração de pedreiras.

(Fonte: Correia & Sousa, 2012).

### 1.5. ESCOMBREIRAS

Na indústria extrativa, denomina-se por 'minério' o material que é aproveitável e que tem interesse económico, por sua vez a 'ganga' corresponde ao material sem valor económico. As escombreliras são depósitos superficiais junto às explorações mineiras onde a ganga é acumulada. Na maior parte das vezes, estes depósitos acarretam poluição visual, poluição dos solos, ar e água, no caso de conterem substâncias tóxicas, e aumentam o risco de ocorrência de movimento de vertentes.

A seleção do local para a implantação de uma escombrelira obedece a vários fatores, como o volume total de estéril a transportar, a necessidade de minimizar a área afetada, os impactes na área envolvente e a possibilidade de integração e restauração da estrutura final da exploração (Costa, 2018).

Um dos piores impactes paisagísticos proveniente da indústria extrativa são as escombreliras, estas alteram toda a fisiografia do local. Desta forma, as escombreliras devem ser objeto de particular atenção nas medidas de recuperação ambiental e paisagística. Seria de todo importante que a recuperação das mesmas se desse em simultâneo com a exploração do solo (Figura 5), reduzindo os impactes ambientais e permitindo uma melhor gestão dos resíduos. Esta solução seria mais viável nas pedreiras em flanco de encosta, uma vez que no caso das pedreiras em zona plana é necessário remover todos os resíduos para continuar com a extração em profundidade (Correia & Sousa, 2012).



Figura 5 - Preenchimento dos vazios resultantes da exploração de pedreiras com recurso a material das escombreliras.

(Fonte: Correia & Sousa, 2012).

Os processos de recuperação de escombreliras apoiam-se essencialmente em três operações: ocultação e revegetação do local, obras de estabilização e drenagem ou a reutilização dos estéreis.

As escombreliras com declive menos acentuado e de dimensão reduzida são mais facilmente integradas na paisagem, isto é, são mais facilmente ocultadas. Do ponto de vista paisagístico é mais adequado o plano que diminua a volumetria e esbata as formas geométricas. A revegetação completa das escombreliras é preferível à implantação de uma cortina arbórea. O recobrimento com terra vegetal permite reduzir o contraste cromático e facilitar o enraizamento das espécies vegetais (Correia & Sousa, 2012).

No caso de serem observados movimentos de terra ou risco de estes acontecerem, será necessário, antes de implantar a cobertura vegetal ou de dar uso aos terrenos, adotar um conjunto de medidas de sustentação. Uma das soluções subsiste em diminuir a inclinação, de forma a reduzir as forças desestabilizadoras. Outra medida de sustentação compreende a construção de um muro, devidamente enquadrado, na base da escombrelira. Por fim, e com o objetivo de minimizar os danos decorrentes da passagem de água, deve ser introduzido um sistema de drenagem nas escombreliras (Correia & Sousa, 2012).

A alternativa da reutilização dos estéreis (Figura 5) consiste no aproveitamento dos resíduos para o enchimento das cavidades deixadas pela extração de matéria-prima, esta opção deve ser posta em prática à medida que a exploração prossegue para não sobrecarregar em demasia as operações finais de recuperação (Correia & Sousa, 2012).

## **1.6. RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA DE PEDREIRAS**

O sector da indústria extrativa segue muitas regulamentações jurídicas a nível ambiental e de ordenamento do território, uma vez que manifesta vastas implicações no ambiente e na saúde pública. Portugal contém uma vasta regulamentação e legislação, que tem como principal objetivo controlar e mitigar os impactes ambientais incitados por esse tipo de atividade (Carreto, 2012).

O Decreto-Lei n.º 340/2007, de 12 de outubro, também designado vulgarmente como ‘lei de pedreiras’, aprova o regime jurídico de pesquisa e exploração de massas minerais (pedreiras). Os pedidos de licenciamento de explorações de massas minerais, conduzem à obtenção das licenças (pesquisa ou exploração), que são os títulos que legitimam o seu titular para o desenvolvimento da atividade extrativa. O Decreto-Lei anteriormente enunciado, decreta que a licença de exploração é o título que legitima o seu titular a explorar uma determinada pedreira, isto é, a extrair a massa mineral de acordo com o Plano de Pedreira aprovado nos termos do presente diploma e das condições da licença (SIMPLEX, 2016).

As medidas de gestão ambiental obrigam a que as pedreiras detenham um ‘Plano de Pedreira’. O ‘Plano de Pedreira’ remete para um documento técnico, constituído pelo Plano de Lavra e pelo Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP), exigido no licenciamento de pedreiras de acordo com o Decreto-Lei n.º 340/2007, de 12 de outubro (Gonçalves, 2014).

O ‘Plano de Lavra’ é “o documento técnico contendo a descrição do método de exploração: desmonte, sistemas de extração e transporte, sistemas de abastecimento em materiais, energia e água, dos sistemas de segurança, sinalização e de esgotos” (Decreto-Lei n.º 340/2007, de 12 de outubro, p. 7355). O plano em causa tem como objetivo final comprovar a aplicabilidade do método de desmonte, avaliar a conformidade das medidas de higiene e segurança, permitir o conhecimento das reservas, periodicidade de produção, evolução das frentes de desmonte, grau de preparação para extração, propostas e evolução dos trabalhos de recuperação e por último calcular o grau de aproveitamento dos recursos. Assim sendo, deve ser um documento pormenorizado que permita compreender e prever o desenvolvimento dos trabalhos numa escala espacial e temporal (Gonçalves, 2014).

O ‘PARP’ também é um “documento técnico constituído pelas medidas ambientais, pela recuperação paisagística e pela proposta de solução para o encerramento da pedreira” (Decreto-Lei n.º 340/2007, de 12 de outubro, p. 7355). Os elementos técnicos fundamentais do PARP são o Plano de Desativação e o Plano de Recuperação (Bastos & Silva, 2006). Segundo o decreto em análise, o explorador deve encerrar a exploração e proceder à recuperação da área da pedreira de acordo com o PARP aprovado:

- a) Sempre que possível, à medida que as frentes de desmonte forem progredindo;
- b) Quando conclui a exploração;

- c) Quando abandona a exploração ou a licença cessa nos termos do decreto-lei n.º 340/2007, de 12 de outubro.

O Plano de Lavra e o PARP devem estar articulados entre si, sendo o seu acompanhamento realizado ao longo do tempo através da entrega de planos e da execução de vistorias. O Plano de Pedreira deve ter implícito a redução do impacto ambiental na área circundante, o aproveitamento sustentável da massa mineral, e atendendo à situação económica da empresa exploradora, o princípio das melhores técnicas disponíveis (Gonçalves, 2014).

Existem variadíssimos exemplos de recuperação de pedreiras, uns muitos conhecidos, como é o caso do estádio de futebol no concelho de Braga (A Pedreira), e outros menos divulgados, mas não menos importantes ou criativos. Na Tabela 3 são apresentados alguns exemplos de sucesso e projetos de recuperação de pedreiras (reconversão e reabilitação) não só em território português, mas também no estrangeiro.

Tabela 3 - Exemplos de recuperação de pedreiras (Bastos & Silva, 2006) [continua].

<b>Nome da Pedreira</b>	<b>Localização</b>	<b>Área</b>	<b>Antiga Ocupação/ Tipo de Rocha</b>	<b>Nova Ocupação</b>	<b>Modelo de Recuperação</b>	<b>Referências</b>
Pedreira	Lisboa- Portugal	≈ 8000m <sup>2</sup>	Areeiro	Praça Francisco Sá Carneiro (Praça do Areeiro)	Reconversão	Concluído
Pedreira	Braga-Portugal	≈ 96000m <sup>2</sup>	Pedreira de Granito / Magmática	Estádio Municipal de Braga	Reconversão	Concluído (Projetado do pelo Arquiteto Eduardo Souto Moura em 2004)
Pedreira do Galinha	Ourém e Torres Vedras-Portugal	≈ 20 ha	Pedreira de granito (extração de brita)	Monumento Natural das Pegadas dos Dinossáurios	Reconversão	Concluído
Pedreira	Seixal - Portugal	-	Areeiro	Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos	Reconversão	Concluído
Pedreira	West Nyack, Nova York.	≈ 24 000 m <sup>2</sup>	-	Campo de minigolfe	Reconversão	Concluído
Pedreira do Alvito	Monsanto-Portugal	≈120000 m <sup>2</sup>	Pedreira de calcário	Urbanização	Reconversão	Em projeto
Pedreira da Barrosinha	Batalha- Portugal	-	Pedreira de mármore / Metamórfica	Reflorestação	Reabilitação	Concluído
Pedreira do Carriço	Pombal- Portugal	≈ 18,496ha	Pedreira de Caulino e Feldspato	Reflorestação	Reabilitação	Concluído
Pedreira do Abiúl	Pombal- Portugal	-	Pedreira de Caulino	Lagoa de recolha de águas pluviais/ Parque de merendas/ Reflorestação	Reconversão	Concluído

Tabela 3 - Exemplos de recuperação de pedreiras (Bastos & Silva, 2006) [continua].

<b>Nome da Pedreira</b>	<b>Localização</b>	<b>Área</b>	<b>Antiga Ocupação/ Tipo de Rocha</b>	<b>Nova Ocupação</b>	<b>Modelo de Recuperação</b>	<b>Referências</b>
Pedreira de Santiago de Litém	Pombal- Portugal	-	Pedreira de Caulino	Pista de BTT / Reflorestação	Reabilitação	Concluído
Pedreira	Óbidos-Portugal	-	Pedreira de gesso /Sedimentar	Espaço de recreio e lazer	Reconversão	Em projeto
Pedreira	Toronto- Canadá	-	Pedreira de argila /Sedimentar	Espaço de recreio e lazer	Reconversão	Concluído
Pedreira 'La Plana'	La Rioja-Espanha	-	Pedreira de gravilha e areia	Cultivo de Vinha	Reconversão	Concluído (em 1999)
Mina	Nova Escócia- Canadá	-	Mina de Carvão	Produção Animal	Reconversão/ Reabilitação	Concluído
Pedreira	Florida-EUA	-	-	Campo de Golf de Black Diamond	Reconversão	Concluído
Pedreira	Texas- EUA	-	-	Campo de Golf de Quarry	Reconversão	Concluído
Pedreira	Pozzuolo Martesana-Itália	-	Pedreira de areia	Piscicultura	Reconversão	Concluído
Pedreira de Luck Stone	Virginia-EUA	-	Pedreira	Urbanização	Reconversão	Concluído
Mina	Virginia-EUA	-	Mina de Carvão	Anfiteatro	Reconversão	Concluído
Pedreira	St. Mary- Canadá	-	Pedreira de Calcário	Piscina pública	Reconversão	Concluído
Pedreira Shengkeng	Songjiang – China	-	Pedreira	Hotel	Reconversão	Concluído
Pedreira de St Margarethen	Áustria	-	Pedreira de calcário	Auditório	Reconversão	Concluído

Tabela 3 - Exemplos de recuperação de pedreiras (Bastos & Silva, 2006) [continuação].

<b>Nome da Pedreira</b>	<b>Localização</b>	<b>Área</b>	<b>Antiga Ocupação/ Tipo de Rocha</b>	<b>Nova Ocupação</b>	<b>Modelo de Recuperação</b>	<b>Referências</b>
Pedreira Yepes-Ciruelos	Toledo-Espanha	-	Pedreira (Cimenteira)	Reserva Natural	Reabilitação	Concluído

## **2. SERVIÇOS ECOSSISTÉMICOS**

O segundo capítulo da presente dissertação aborda o tema dos serviços do ecossistema – ou SE, como tem vindo a ser adotado no texto. Os SE representam os benefícios que obtemos dos ecossistemas direta ou indiretamente (Costanza *et al.*, 2017). Neste contexto, o capítulo seguinte tem como propósito enquadrar o tema supracitado, expor o desafio da estabilização do quadro conceptual, apresentar classificações atribuídas aos SE e, em último lugar, sintetizar uma contextualização sobre o valor dos SE e as abordagens a aplicar na sua análise. O estudo dos SE é fundamental ao ordenamento do território, sobretudo na conceção de estratégias holísticas e integradas, que salvaguardem e potenciem, entre outros, os benefícios associados às funções de regulação dos processos naturais. Para que isto se verifique é necessária a manutenção das áreas e/ou a implementação de medidas que suportem e promovam estes processos.

### **2.1. CONCEITO E APLICAÇÃO**

A noção de ‘serviços do ecossistema’ terá aparecido pela primeira vez em 1981, numa publicação de autoria de Ehrlich & Ehrlich, como uma tentativa de construir uma linguagem comum para promover a ligação entre os sistemas ecológicos e os económicos (Costanza *et al.*, 2006). Os ‘serviços do ecossistema’ podem também ser designados por ‘serviços ecossistémicos’ ou ‘serviços ambientais’.

O conceito de ‘ecossistema’ pode ser traduzido como uma unidade funcional onde comunidades biológicas interagem de uma forma dinâmica com o meio abiótico. Os seres humanos são parte integral dos ecossistemas (Pereira *et al.*, 2009), que de um ponto de vista estritamente antropocêntrico, podem ser entendidos como os alicerces da existência e da atividade humana, proporcionando uma variedade de ‘serviços’ indispensáveis à Humanidade (Correia, 2017). Assim sendo, um SE pode ser caracterizado pelo benefício que os humanos retiram de forma direta ou indireta dos elementos e/ou das funções dos ecossistemas que contribuem para o seu bem-estar (Costanza *et al.*, 1997). A admissão do conceito de SE tem inerente a gestão da multifuncionalidade dos ecossistemas, contudo nem sempre é possível conciliar num mesmo local todos os serviços potenciais que os ecossistemas podem assegurar (Pereira *et al.*, 2009).

A necessidade de estabilização do quadro conceptual é especialmente evidente na utilização das noções de ‘serviço’, ‘função’ e ‘benefício’, que são muitas vezes utilizadas como sinónimos, com o mesmo significado.

Haines-Young e Potschin (2010) desenvolveram um quadro conceptual, conhecido como o ‘modelo da cascata dos serviços dos ecossistemas’, que elabora a articulação entre estrutura espacial e processos

ecológicos (ou biogeofísicos), as funções que exercem na dinâmica dos ecossistemas, os serviços que o correto funcionamento dos ecossistemas pode possibilitar à população de uma determinada área, revertendo assim em determinados benefícios, que podem ser valorados em termos monetários ou não-monetários (Figura 6).

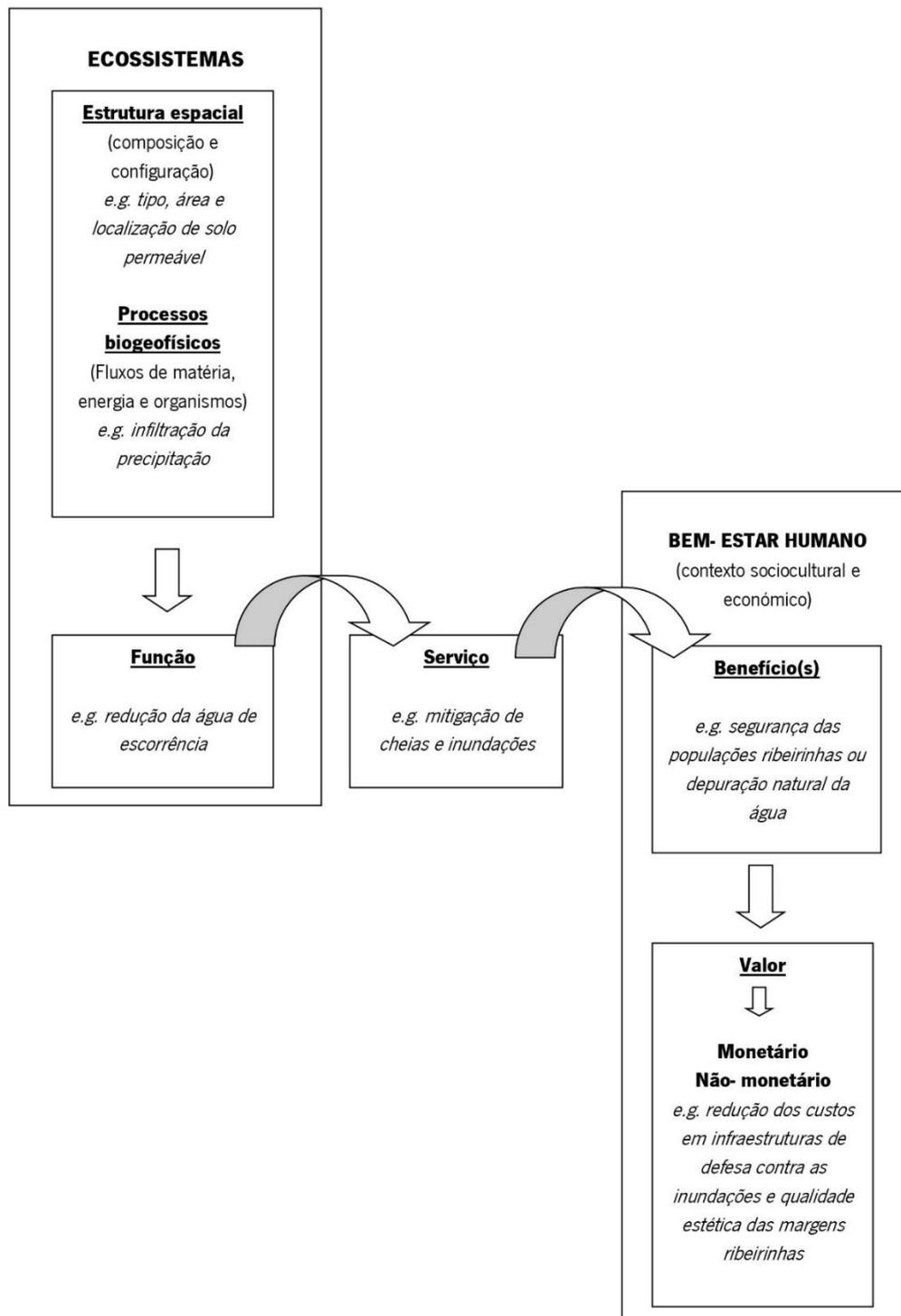


Figura 6 - Modelo da cascata dos serviços dos ecossistemas.

(Fonte: Adaptado de Haines-Young & Potschin, 2010).

Como foi referido anteriormente, 'multifuncionalidade' é um conceito chave inerente ao quadro concetual dos SE. No entanto, esta pode ser abordada de modo muito diferente conforme as duas grandes tradições de investigação que aí se cruzam (Selmi *et al.*, 2013; Madureira, 2016). Primeiramente, uma visão de matriz mais antropocêntrica, que se centra no bem-estar humano e no desenvolvimento sustentável, define e utiliza o termo 'multifuncionalidade' sobretudo para englobar os múltiplos benefícios de natureza económica, social, cultural e ambiental, que se exigem aos ecossistemas de determinada área, quase como um pré-requisito. Uma segunda visão, de índole mais ecocêntrica, mais próxima do quadro conceptual dos SE, emprega o termo 'multifuncionalidade' para avaliar as funções ecológicas produzidas nos ecossistemas, que posteriormente poderão reverter-se em SE para a sociedade (Madureira, 2016). Retomando o 'modelo da cascata dos serviços ecossistémicos', torna-se evidente que a estrutura espacial e os processos ecológicos que caracterizam dado ecossistema vão determinar as funções desse ecossistema e conseqüentemente os SE que potencialmente poderá oferecer. Por sua vez, estes SE podem resultar em reconhecidos benefícios e ser valorizados social ou economicamente.

A clarificação destes conceitos é útil porque determinados processos e funções dos ecossistemas podem ser decisivos para a sua própria existência, mas não serem necessariamente utilizados como um serviço, que obrigatoriamente depreende a existência de beneficiários humanos (Madureira, 2016). Por outro lado, diferentes ecossistemas caracterizam-se por funções distintas com uma importância variável, pelo que não podem oferecer múltiplos SE e benefícios de modo semelhante.

A avaliação dos SE é empregue em variadíssimos contextos, tendo uma relevância particularmente significativa. No âmbito da sustentabilidade urbana, uma vez que as cidades atuais congregam grande parte da população mundial e se caracterizam por um ambiente extremamente artificializado e/ou degradado. Na promoção de cidades sustentáveis e saudáveis, a gestão das áreas verdes urbanas enfrenta o difícil desafio da conciliação das agendas de ambiente, saúde, inclusão social e desenvolvimento económico. Espaços verdes como parques, praças, jardins (públicos e privados) e vias arborizadas são considerados fundamentais para promover o bem-estar e cooperar na mitigação dos impactos negativos associados ao processo de urbanização. Desta maneira, a avaliação da oferta de SE fornece uma base útil para determinar o papel desempenhado pelas áreas verdes, permitindo estabelecer metas e definir estratégias para melhorar o funcionamento ecológico dessas áreas, com a finalidade de promover a sustentabilidade no ambiente urbano (Gaudereto *et al.*, 2018). Porque parte de uma abordagem inerentemente antropocêntrica, o estudo e análise dos SE permite alertar e consciencializar a sociedade para os problemas ambientais no contexto global da sustentabilidade e mudanças climáticas, despertando o interesse da população para as temáticas e criando mecanismos

para uma maior inclusão e participação, nomeadamente ao tomar em linha de conta a procura, ou seja os grupos sociais e as áreas que mais necessitam da prestação de certos SE e de usufruir dos seus benefícios. A incorporação do conceito de SE nas políticas, leis, planos e projetos tem vindo a estimular a troca de ideias, desenvolvendo formas inovadoras de pensar. Desta forma, surgem modelos diferentes e vanguardistas de ordenar o território e planejar as cidades, tendo como pano de fundo o ambiente e os SE que possibilitam a interligação entre os benefícios e os valores, sejam eles monetários ou não monetários.

## **2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÉMICOS**

A necessidade de identificar, caracterizar e classificar os SE conduziu ao desenvolvimento de várias iniciativas internacionais, entre as quais se distinguem o *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB) e a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES), (Burkhard *et al.*, 2012).

No que diz respeito à recolha e síntese de informações sobre os ecossistemas e os seus serviços, a primeira iniciativa internacional teve origem no MEA, ou Avaliação de Ecossistemas do Milénio, um estudo global efetuado entre 2001 e 2005, solicitado pelo Secretário Geral das Nações Unidas. O MEA teve como objetivo conferir uma avaliação integrada das consequências das alterações dos ecossistemas no bem-estar humano, assim como investigar as alternativas disponíveis para a preservação dos ecossistemas, de modo a continuarem a responder às necessidades humanas. Assim, o estudo supracitado também estabeleceu a base científica para uma melhoria da gestão dos ecossistemas da Terra, de modo a garantir a sua conservação e uso sustentável. A iniciativa baseou-se nos SE, ou seja, nos benefícios diretos e indiretos que obtemos dos ecossistemas, tais como a produção de alimentos e de matérias-primas, a regulação do ciclo da água, a formação do solo, entre outros. Visto que o MEA foi desenvolvido como uma avaliação a múltiplas escalas, desde a escala global à escala local, para além de grupos de trabalhos à escala global, foi destacado um grupo de trabalho de 'Avaliações Sub-Globais', com a incumbência de desenvolver avaliações dos ecossistemas a escalas regionais, nacionais e locais. Uma das 'Avaliações Sub-Globais' incluiu a 'Avaliação para Portugal' (Pereira *et al.*, 2009).

A iniciativa MEA propõe um esquema de classificação dos SE bastante operacional, acessível e facilmente compreensível por decisores e comunidades não científicas, sendo por isso uma das classificações mais divulgadas e utilizadas. No seu enquadramento concetual, os SE são categorizados em quatro grupos: 'serviços de aprovisionamento', 'serviços de regulação', 'serviços culturais' e 'serviços de suporte' (Tabela 4). As classificações propostas por MEA, de 2005, e TEEB, de 2008, ostentam poucas

divergências entre si, sendo evidente a omissão neste último dos ‘serviços de suporte’ e a inclusão dos ‘serviços de habitat’ (Leitão, 2015).

O CICES, em 2009, propõe uma classificação internacional comum que proporciona o cálculo do valor económico dos SE e permite incluir esse valor no Sistema de Contabilização Económica e Ambiental, concebido pelas Nações Unidas e utilizado pela Agência Europeia do Ambiente. Divergindo do MEA, o CICES reconhece apenas três categorias principais de SE, que são os ‘serviços de aprovisionamento’, ‘serviços de regulação’ e ‘serviços culturais’, repartindo entre fatores bióticos e abióticos. Os ‘serviços de suporte’, definidos no MEA, são considerados no CICES como parte implícita às estruturas, processos e funções que determinam os ecossistemas (Fonte: <https://florestas.pt/saiba-mais/o-que-sao-os-servicos-do-ecossistema/>, acessado em 2021).

Tabela 4 - Classificação dos SE segundo MEA e exemplos comuns.

(Fonte: Adaptado de MEA, 2005).

<b>Serviços de Aproveitamento</b>	<b>Serviços de Regulação</b>	<b>Serviços Culturais</b>
<p><b>Bens</b> que os ecossistemas fornecem diretamente para consumo humano, a partir dos seus elementos constituintes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentos</li> <li>• Água potável</li> <li>• Madeira</li> <li>• Fibras</li> <li>• Combustíveis</li> <li>• Recursos genéticos</li> </ul>	<p><b>Mitigação de impactes e riscos</b> alcançada através das funções de regulação dos processos dos ecossistemas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulação do clima</li> <li>• Regulação do ciclo hidrológico</li> <li>• Controlo de doenças ou pragas</li> <li>• Controlo da erosão</li> <li>• Purificação da água</li> <li>• Purificação do ar</li> </ul>	<p><b>Experiências</b> proporcionadas pelos ecossistemas que promovem as relações sociais e conferem identidade cultural.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herança cultural</li> <li>• Património natural</li> <li>• Lazer e Turismo</li> <li>• Educação e Sensibilização</li> <li>• Estética</li> <li>• Inspiração</li> <li>• Espiritualidade e religiosidade</li> </ul>

**Serviços de Suporte**

**Base de outros serviços ecossistémicos**, sendo indispensáveis à sua realização (isto é, necessários para a produção de todos os outros).

- Ciclo dos nutrientes
- Cadeias alimentares
- Formação do solo
- Produção primária
- Produção de O<sub>2</sub>
- Provisão de habitat

As dimensões espacial e temporal da produção e usufruto dos SE não são muito divulgadas, sendo raros os casos em que são tidas em consideração (Laranjeira & Pinheiro, 2018). No contexto da dimensão espacial, Fisher *et al.* (2009) propõe uma classificação dos SE em função da relação espacial entre as áreas onde estes são produzidos, denominadas por 'áreas de produção', e as áreas onde se verificam

os respectivos benefícios, conhecidas como 'áreas de benefício'. Segundo Fisher *et al.* (2009), os SE podem ser classificados como: *in situ* (Figura 7; '1'), quando o serviço prestado beneficia apenas o local onde é produzido, ou seja, a área de produção e a área de benefício ocorrem no mesmo lugar; direcional (Figura 7; '3'e '4'), quando o serviço prestado beneficia um local específico, que não coincide com a área de produção, de acordo com uma determinada direção, ou seja, é necessária a existência de algum tipo de conectividade funcional ou ausência de barreiras físicas, entre a área de produção e a área de benefício; omnidirecional (Figura 7; '2'), quando a partir de uma determinada área de produção, o serviço é prestado em todas as direções, beneficiando assim o território circundante; e, por fim, dissociado, quando o serviço prestado beneficia locais com os quais a área de produção não possui uma relação espacial (física) direta ou explícita, isto é, a relação entre a área de produção e a área de benefício pode não ser imediatamente identificável (Fisher *et al.*, 2009).

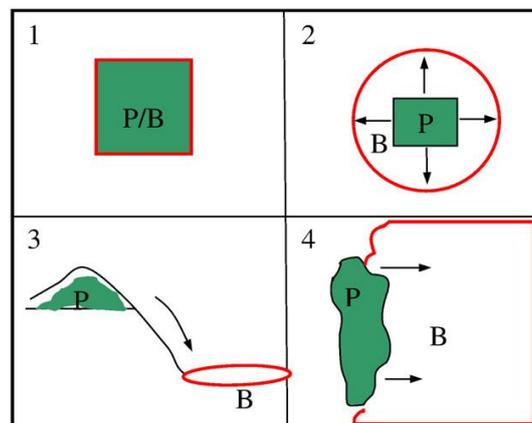


Figura 7 - Relações espaciais entre áreas de produção [P] e áreas de benefício [B] dos SE: 1- *in situ*; 2 - omnidirecional; 3 e 4 – direcional.

(Fonte: Fisher *et al.*, 2009).

### 2.3. VALOR DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Os sistemas atuais de decisão ignoram ou subestimam frequentemente o valor dos SE. Porém, esta situação é reflexo da falta de um referencial científico aceite de forma unânime, uma vez que diferentes disciplinas, pontos de vista filosóficos e escolas de pensamento avaliam de maneira diferente o valor dos ecossistemas.

Um paradigma de valor, conhecido como o utilitário (antropocêntrico), baseia-se no princípio da satisfação humana preferencial, ou seja, o bem-estar comum. Neste caso, os ecossistemas e subsequentemente os serviços que estes oferecem tem valor para a sociedade porque as pessoas, direta ou indiretamente, tiram proveito do seu uso – trata-se do 'valor de uso'. No âmbito do conceito utilitário

de valor, também é dada importância aos SE que não são aproveitados no momento – é o designado ‘valor de não-uso’. Um tipo de ‘valor de não-uso’, geralmente conhecido como ‘valor de existência’, envolve os casos em que a sociedade atribui valor à existência de determinados aspetos dos ecossistemas, mesmo que estes nunca venham a ser diretamente utilizados ou explorados. Frequentemente é-lhes atribuído um significado histórico, político, ético, religioso ou espiritual, correspondendo em parte ao que o MEA reconhece como sendo os ‘serviços culturais’ dos ecossistemas (Alcamo *et al.*,2003).

Um paradigma diferente, o do valor não utilitário, considera que algo pode ter valor intrínseco - isto é, pode ter valor por si e para si mesmo - independentemente da sua utilidade ou significado para outros. Sob esta perspetiva os ecossistemas têm valor intrínseco, independente da sua contribuição para o bem-estar humano (Alcamo *et al.*,2003).

O valor utilitário e o valor não utilitário dos ecossistemas sobrepõem-se e entrecruzam-se de variadíssimas formas, porém utilizam diferentes métricas ou sistemas de valoração, sem um denominador comum e usualmente não podem ser agregados. Apesar disso, recorre-se a ambos os paradigmas nos processos de decisão (Alcamo *et al.*,2003). Sob a abordagem utilitária, tem sido desenvolvido um amplo leque de metodologias para quantificar os benefícios de diferentes SE. Estes métodos estão particularmente bem desenvolvidos para serviços de aprovisionamento, todavia estudos recentes também melhoraram a capacidade de valorar serviços de regulação. A escolha de técnicas de valoração num dado momento é determinada pelas características do caso e pelos dados disponíveis (Alcamo *et al.*,2003).

Atentando no esquema conceptual da ‘cascata dos serviços dos ecossistemas’ (Figura 6), sai reforçada a ideia de que os SE não existem isolados das necessidades da sociedade, ou seja, a identificação de determinados serviços pressupõe a avaliação dos seus benefícios e respetivos beneficiários. Este enfoque na procura denota que os SE são indissociáveis do paradigma do valor utilitário. No entanto, a valoração dos SE não se restringe apenas ao valor monetário, considerando-se também o valor não-monetário, por exemplo o valor sociocultural ou para a conservação da natureza. Desta forma, apoia-se uma valoração integrada dos SE, que considere os três principais grupos de valores - económicos, socioculturais e ecológicos – e por isso, seja capaz de sintetizar diversos quadros de valoração, de modo a auxiliar processos de decisão informados (Madureira, 2016).

A importância da valoração dos SE é expressamente reconhecida na literatura científica sobre a temática. No entanto, como mencionado em Gómez-Baggethun & Barton (2013), se por um lado os valores monetários têm vindo a ser abundantemente estudados, por outro lado os mecanismos de valoração

não-monetários, particularmente os simbólicos, culturais ou identitários, permanecem amplamente por explorar.

O esquema da Figura 8 sintetiza três abordagens empregues para a atribuição de valores aos SE (Andrade & Romeiro, 2009).

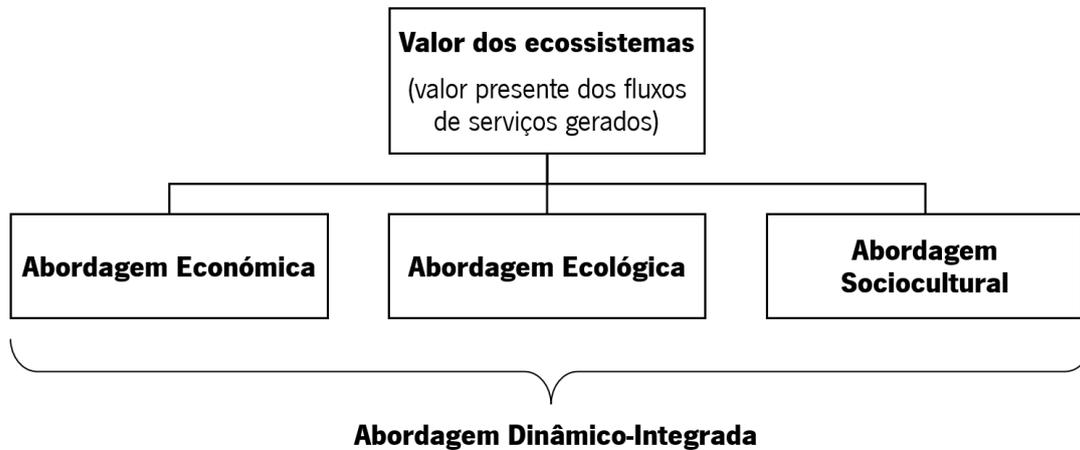


Figura 8 - Abordagens utilizadas para a atribuição de valores aos serviços ecossistêmicos.

(Fonte: Adaptado de Andrade & Romeiro, 2009).

#### • **Abordagem económica da valoração**

Como foi anteriormente mencionado, a abordagem utilitária-reduzora atribui valores aos SE vinculados à utilidade derivada, direta ou indiretamente, do uso atual e potencial dos SE. A utilidade do SE é aferida indiretamente quando o valor calculado resulta de um efeito adverso da privação do serviço. Estes serviços podem ser avaliados através de:

- Variações na produtividade, isto é, quando variações na qualidade ambiental afetam a produtividade das atividades humanas;
- Valores de reposição do que foi perdido;
- Gastos defensivos;
- Custos de oportunidade.

A alusiva simplicidade dos seus cálculos contrapõe-se com a limitação de não compreender SE que não estejam ligados ao uso direto e indireto dos ecossistemas, por exemplo serviços culturais (Andrade & Romeiro, 2009).

- **Abordagem ecológica da valoração**

Os esquemas de atribuição de valores baseados na abordagem ecológica legitimam a complexidade dos ecossistemas e consideram as interdependências biofísicas. A abordagem ecológica é conhecida pelo fato de não utilizar as preferências humanas e, em consequência, os SE, físicos e não físicos, são produzidos pela natureza, autonomamente do seu relacionamento com a espécie humana.

De um modo genérico, a comunidade científica utiliza o termo 'valor' com um sentido idêntico ao usado por economistas, ou seja, refere-se à magnitude da importância de certo SE no âmbito do ecossistema. Neste sentido, os valores ecológicos procuram apreender ou mensurar as interdependências entre os complexos processos ecossistêmicos, destacando a importância das funções ecossistêmicas, que usualmente não são detetadas por outros processos de valoração (Andrade & Romeiro, 2009).

- **Abordagem sociocultural da valoração**

Ao realçarem o sistema económico ou o ecológico, as abordagens descritas previamente não consideram os aspetos normativos e éticos dos valores dos SE. Os ecossistemas e os seus serviços desempenham um papel importante para a identidade cultural e moral da sociedade, e encontram-se em plena sintonia com valores éticos, espirituais, históricos e artísticos de determinadas populações, o que faz com que estes sejam valorizados pela sociedade em causa, mesmo nos casos em que os SE não contribuem diretamente para o seu bem-estar material (Andrade & Romeiro, 2009).

Segundo a iniciativa MEA, os valores mencionados nesta abordagem dos ecossistemas estão associados à categoria dos serviços culturais, podendo ser apenas parcialmente integrados pelas técnicas de abordagem económica. Contudo, devido a dimensões de valores intrínsecos atribuídos aos ecossistemas pela sociedade, é impossível capturar a totalidade desses valores, sendo necessária a aplicação de outros processos, como a avaliação participativa ou a valoração em grupo. O propósito deste tipo de valoração é alcançar um acordo sobre o que deve ser valorado pela sociedade ou em nome desta (Andrade & Romeiro, 2009).

- **Abordagem dinâmico-integrada**

As abordagens tradicionais para a valoração dos SE destacam uma dimensão ou sistema (económico ou ecológico) em particular, não considerando as inter-relações que se podem estabelecer entre os valores dos SE. Estas abordagens usuais são também estáticas, não acompanhando as trajetórias espaciotemporais dos valores dos SE associadas à evolução das estruturas ecossistêmicas (Winkler, 2006). Assim sendo, perante as limitações decorrentes de cada abordagem e o fator redutor inerente a

tentativas de disciplinas isoladas em lidar com a valoração ecossistémica (Costanza *et al.*, 1993), torna-se premente a adoção de uma abordagem integrada (Andrade & Romeiro, 2009).

A integração das várias abordagens conduz ao aparecimento de um novo paradigma transdisciplinar de valoração, no qual se ponderam os conceitos de 'sustentabilidade ecológica', 'justiça distributiva' e 'eficiência económica' (Costanza, 2001), concordante com os princípios do desenvolvimento sustentável. Neste novo paradigma, as contribuições das ciências económicas, sociais e naturais são combinadas na tentativa de construção de modelos socioeconómico-ecológicos. O objetivo principal é traduzir nestes modelos uma visão holística sobre os ecossistemas, os seus serviços e as suas contribuições para o bem-estar humano, bem como considerar os vários efeitos de feedback existentes entre os ecossistemas e os sistemas socioeconómicos. Com efeito, a abordagem dinâmico-integrada pretende igualmente possibilitar a identificação dos impactos das mudanças ambientais sobre os resultados das atividades humanas e os efeitos que estas últimas possuem sobre futuras alterações nos ecossistemas (Andrade & Romeiro, 2009).

### **3. Planeamento urbano baseado no desempenho dos SE**

O terceiro capítulo versa sobre o planeamento urbano, com especial ênfase no planeamento baseado no desempenho – ou PBD. Nesta sequência, o capítulo seguinte aborda a pertinência da inclusão dos SE de regulação nos processos de tomada de decisão do planeamento urbano, realiza um enquadramento da temática do PBD, bem como uma breve reflexão sobre a sua implementação prática. Por fim, explora o modo como o PBD afeta a justiça ambiental e conseqüentemente como esta promove a sustentabilidade urbana.

Tornar as cidades do século XXI mais sustentáveis é um dos principais desafios para a humanidade (Webb *et al.*, 2018). Desta forma, surgem diversas estratégias de planeamento com o intuito de permitir que o complexo sistema técnico e socio-ecológico urbano funcione de forma eficiente, ao mesmo tempo que se tenta reduzir a dívida entrópica (Pelorosso, Gobattoni, & Leone, 2017), isto é, restaurar a desordem provocada no sistema. A abordagem do planeamento tecnocrático, mesmo que ainda muito utilizada, tem vindo a ser gradualmente questionada por investigadores e instituições governamentais por não ser capaz de administrar integralmente os sistemas urbanos, faltando flexibilidade nos planos de estratégia e dificultando a inclusão dos processos indispensáveis de criatividade e de renovação sustentável das cidades (Moroni & Cozzolino, 2019).

Nos últimos anos, a literatura científica sobre os SE urbanos tem aumentado exponencialmente. Em simultâneo, tem ocorrido um forte apelo para integrar conceitos inovadores, como infraestruturas verdes, SE e soluções baseadas na natureza nas práticas de planeamento urbano, especialmente na União Europeia (UE) (Comissão Europeia, 2015). Como resultado, as abordagens de planeamento com base nos conceitos de infraestruturas verdes e SE têm se espalhado entre os órgãos municipais responsáveis pelo planeamento e ordenamento. Atualmente, muitos planos urbanos já incluem ações para promover a melhoria dos SE locais, com vista à obtenção de benefícios. Por exemplo, em Portugal foi implementado um Programa de Transformação da Paisagem (PTP), que configura uma estratégia para os territórios vulneráveis da floresta com elevada perigosidade de incêndio. O PTP revela a aposta numa abordagem territorial de políticas públicas associadas à revitalização dos territórios da floresta, tornando-os mais resilientes e adaptados às mudanças climáticas, tendo por base a transformação da paisagem. A implementação do programa permite a criação de uma nova economia associada a estes territórios, fundamentada por mecanismos de remuneração dos serviços prestados pelos ecossistemas e pela articulação de financiamentos nacionais e comunitários direcionados a estes territórios (DGT, 2021).

As tendências atuais referentes ao desenvolvimento e às novas ocupações dos espaços urbanos exigem abordagens inovadoras e criativas para o planeamento. O PBD é construído com base numa nova

perspetiva que supera as visões tradicionais, que fundamentam o planeamento essencialmente no cumprimento dos objetivos em conformidade. O PBD, por sua vez, tem como conduta preferencial a concretização dos objetivos de desempenho, bem como a adoção de abordagens participativas para a sua evolução e afirmação, com o intuito de obter uma maior flexibilidade e criatividade na sua implementação (Leitão & Varela, 2020). Estes valores tornam-se fundamentais para administrar e promover a sustentabilidade das cidades, nos dias de hoje as soluções específicas alicerçadas no lema *one-size-fits-all* (Leitão & Varela, 2020) revelam-se despropositadas em ambientes complexos, como é caso da grande maioria das cidades quotidianas.

### **3.1. Os SE de REGULAÇÃO NO PLANEAMENTO URBANO**

Os SE de regulação são definidos como os benefícios obtidos com a regulação dos processos dos ecossistemas (MEA, 2005), e compreendem múltiplas formas de regulação das condições ambientais dos ecossistemas, podendo atuar em diferentes meios: o solo, a água e a qualidade do ar (Cortinovis & Geneletti, 2019). Os SE de regulação produzidos pelos ecossistemas urbanos incluem geralmente os serviços de purificação do ar, de regulação microclimática, de redução de ruído, de mitigação de escoamento (Gómez-Baggethun & Barton, 2013), entre outros, que desempenham um papel fundamental na promoção de cidades sustentáveis, habitáveis e resilientes (McPhearson *et al.*, 2015). Contudo, os SE de regulação são frequentemente desconsiderados nos processos de tomada de decisão atuais. Segundo Sutherland *et al.* (2018), os SE de regulação sustentam fundamentalmente a integridade da biosfera, a segurança humana e o fornecimento da maioria dos outros SE. No entanto, as vias pelas quais os SE de regulação geram benefícios para as pessoas são complexas e variam espacial e temporalmente. Muitas vezes, os órgãos responsáveis pela tomada de decisão subestimam os serviços de regulação porque se concentram em SE que têm ligações mais óbvias com o bem-estar humano (Sutherland *et al.*, 2018). A importância dos serviços depende dos benefícios produzidos, isto é, quanto mais a parte interessada ambicionar um determinado benefício, maior importância esta irá atribuir à oferta do SE no momento de planeamento (Fisher *et al.*, 2009). A falta de atenção para com a temática dos SE de regulação pode originar riscos, não intencionais, para o bem-estar humano, assim como pode causar impactos imediatos ou a longo prazo (Sutherland *et al.*, 2018) nos restantes grupos de SE (serviços de aprovisionamento, culturais e de suporte).

Entre os processos de decisão que afetam os SE nas cidades, o planeamento urbano é indubitavelmente o mais relevante. Ao decidir a localização dos usos do solo e atividades económicas, o planeamento urbano define também a dimensão e o posicionamento dos componentes das infraestruturas verdes, isto

é, a principal tipologia de uso do solo responsável pela produção de SE (Cortinovis & Geneletti, 2019). A definição do arranjo espacial dos usos e funções do solo, e consequentemente a distribuição da população e dos ativos físicos, determina fundamentalmente a procura dos SE de regulação (Langemeyer *et al.*, 2016). No entanto, as consequências das decisões de planeamento sobre a procura de SE raramente são exploradas, o que de alguma forma reflete a presença de uma vertente ainda embrionária e em estruturação, limitada pela falta de literatura científica sobre este aspeto (Schmidt *et al.*, 2016). Os poucos estudos que abordam explicitamente a análise dos SE de regulação em relação ao planeamento de cenários (por exemplo, Kain *et al.*, 2016; Mascarenhas *et al.*, 2019) focam essencialmente o modo como as alterações nas infraestruturas verdes modificam a produção e a oferta dos SE, mas não consideram a forma como a mudança de outras tipologias de solo, decorrente por exemplo, da expansão urbana ou densificação, pode afetar diretamente a intensidade e a distribuição da oferta e procura dos SE (Cortinovis & Geneletti, 2019).

No geral, há um lapso de informação nas relações entre os SE de regulação e as decisões de planeamento urbano. Embora os métodos e os indicadores utilizados para descrever os SE de regulação urbanos sejam úteis para avaliar as condições atuais e identificar as necessidades existentes, conforme demonstrado por um conjunto crescente de estudos (por exemplo, Derkzen *et al.*, 2015; Holt *et al.*, 2015; Baró *et al.*, 2016; Larondelle & Lauf, 2016), as propostas metodológicas são por vezes incapazes de apoiar o planeamento na adoção de uma abordagem proativa e científica, baseada na compreensão dos efeitos das decisões de planeamento (Davies *et al.*, 2017).

A grande maioria dos estudos publicados tem como principal objetivo explicar as estruturas conceituais e interpretar os SE existentes, em vez da aplicação prática no planeamento e na tomada de decisão. Estes estudos tendem a ser mais conceituais do que instrumentais, pelo que, servem maioritariamente para fomentar a discussão ao invés de suportar a decisão (Wright *et al.*, 2017). Desta forma, torna-se operacionalmente complicado para os órgãos dirigentes municipais, responsáveis pela tomada de decisão, considerarem a valorização dos SE urbanos, nomeadamente os SE de regulação, como um objetivo estratégico para orientar as decisões de planeamento.

Como forma de suporte das medidas de planeamento, primeiro seria necessário identificar as variáveis mais relevantes que vinculam os SE de regulação com as decisões de planeamento e compreender, pelo menos qualitativamente, como as variáveis podem ser influenciadas pelas decisões. Permitindo assim, identificar os potenciais impactos de diferentes estratégias e selecionar o tipo certo de intervenção para melhorar a regulação dos SE urbanos. Só numa fase seguinte, quando as intervenções já estivessem

ajustadas e adaptadas ao contexto específico do local, é que se poderia proceder a uma quantificação detalhada dos benefícios esperados (Cortinovis & Geneletti, 2019).

No âmbito do planeamento urbano, o PBD conquista um papel de destaque e inovação, uma vez que conta com vários estudos de implementações da abordagem com sucesso (e.g., Moroni, 2015; Frew *et al.*, 2016). De facto, o planeamento urbano baseado no desempenho procura a otimização da distribuição e alocação dos usos do solo e das atividades humanas, usando indicadores e padrões de desempenho, com escalas de qualidade e quantidade baseadas nas características do local, e um conjunto flexível de normas (Frew *et al.*, 2016), com vista à oferta de uma gama mais variada de alternativas de como as transformações do solo podem ser implementadas. O PBD foi considerado eficiente ao ponto de superar a reconhecida natureza estática do planeamento prescritivo e em particular, do zonamento, que normalmente se baseia na identificação *a priori* dos usos do solo e outras medidas prescritivas que determinam estaticamente a preferência de um uso do solo sobre outro (La Rosa & Pappalardo, 2020).

### **3.2. O PLANEAMENTO BASEADO NO DESEMPENHO - UMA ABORDAGEM INOVADORA**

O PBD pode integrar uma alternativa ao regime prescritivo de planeamento, que tem como peça central a carta de zonamento (Cortinovis & Geneletti, 2020). O PBD, teve início nos anos 70 nos municípios dos EUA, contudo foi especialmente aplicado na Austrália e na Nova Zelândia durante a década de 1990 (Baker *et al.*, 2006), centra-se essencialmente nos resultados de implementação dos planos (Cortinovis & Geneletti, 2020). De facto, o destaque não é dado ao papel regulatório, mas sim à vertente estratégica (Baker *et al.*, 2006), por meio da definição de objetivos a longo prazo e de estratégias para os obter. Todavia, ainda que alvo de diversas críticas, relativas à incerteza, custos e requisitos técnicos, o PBD continua sistematicamente a reaparecer (e.g., Cortinovis & Geneletti, 2020; Pelorosso, 2020), principalmente em abordagens híbridas e fundamentadas na experimentação possibilitada pelos SIG. Os princípios do PBD pressupõem que a adequação e a sustentabilidade das atividades de uso do solo, por exemplo, comerciais ou industriais, dependem da intensidade da atividade, das condições e das características físicas específicas da área onde a mudança de uso do solo e a atividade são implementadas. A abordagem inovadora do PBD prende-se com a definição do zonamento de desempenho e a regulamentação do desempenho relativo (ou seja, padrões e índices), permitindo a flexibilidade do projeto dentro de limites de impacto predefinidos no sistema urbano (Frew *et al.*, 2016)

Por vezes, o vocabulário utilizado no contexto do PBD apresenta definições díspares dependendo das diferentes publicações em análise, o que pode proporcionar um entrave na sua interpretação. A Tabela 5 apresenta uma breve definição dos conceitos relativos ao PBD utilizados neste estudo.

Tabela 5 - Definição dos conceitos utilizados no âmbito do PBD.

(Fonte: Adaptado de Pelorosso, 2020).

CONCEITO	DEFINIÇÃO
Sistema urbano	Um sistema complexo de (sub) sistemas sócio-ecológicos-tecnológicos que sustentam cidades e áreas urbanizadas.
Desempenho do sistema	A eficiência com a qual um sistema cumpre com os seus objetivos planeados, em termos da mensuração de indicadores ambientais, sociais e económicos de sustentabilidade.
Planeamento urbano baseado no desempenho	Uma abordagem de planeamento urbano que visa otimizar a distribuição física e espacial, bem como a alocação de usos do solo e respetivas atividades humanas através de mapas, por exemplo, cartas de zonamento, e regulamentos flexíveis, como padrões e índices, com base em medidas de desempenho explícitas e fundamentadas segundo o sistema local.

Assim sendo, o PBD visa atingir um conjunto de objetivos desejados sem impor indicações específicas de vinculação, mas fornecendo alternativas flexíveis, como padrões de desempenho e outros tipos de pontos de referência. Na vertente do planeamento espacial, o PBD comporta-se precisamente da forma oposta ao planeamento tradicional, onde as transformações espaciais são efetuadas segundo a imposição de uma norma, modo ou característica para projetos de desenvolvimento, que seguem padrões específicos e previamente estabelecidos pela autoridade responsável pelo planeamento do local (La Rosa & Pappalardo, 2020). O PBD está normalmente associado ao desenvolvimento espacial, contudo este conceito pode ser ampliado a outros campos de estudo, como por exemplo avaliação do

desempenho de cenários de planeamento ou como ferramenta de apoio na definição de estratégias e na tomada de decisão de assuntos relacionados com a sustentabilidade urbana (La Rosa & Pappalardo, 2020).

### **3.3. IMPLEMENTAÇÃO DO PLANEAMENTO BASEADO NO DESEMPENHO**

A adoção de uma nova abordagem para um determinado sistema acarreta sempre adaptações e perturbações na doutrina pré-existente. O caso da integração do PBD no planeamento urbano dos municípios atuais não é exceção, especialmente quando ainda se verificam algumas fragilidades e ambiguidades na sua incorporação prática relativamente ao método tradicional, elaborado através de um sistema prescritivo de planeamento. Ocasionalmente, desta forma, uma maior resistência e relutância à inclusão de uma nova visão ou metodologia.

Neste sentido e com o intuito de dar a conhecer a serventia do PBD no caso em estudo, identificou-se algumas das possíveis barreiras para a implementação do PBD num possível caso de estudo. Segundo Leitão e Varela (2020) existem dois obstáculos principais à incorporação da abordagem do PBD: o primeiro diz respeito aos níveis de incerteza enfrentados pela metodologia em estudo e o segundo repara depreende-se com a transição das abordagens teóricas às questões práticas.

A interface entre os sistemas urbanos e os processos de planeamento é assinalada por altos níveis de incerteza. Essa incerteza é provocada pelos processos emergentes não-lineares associados ao comportamento do sistema. Concretamente, podem ser identificados dois aspetos responsáveis pela introdução de incerteza nos processos (Leitão & Varela, 2020):

- O modo de receção e interpretação das propostas planeadas pelas partes interessadas;
- A adequação das medidas propostas pelo PBD nas abordagens convencionais de planeamento, baseadas em regimes prescritivos, comumente associados à falta de capacidade em acompanhar o caráter evolutivo dos sistemas urbanos complexos.

Por outro lado, a passagem das abordagens teóricas às questões práticas também pode ser vista como um entrave na aplicação do PBD. Atendendo à análise SWOT, interpretada por Leitão e Varela (2020), foi possível concluir que um dos principais problemas em relação à implementação do PBD consiste na incapacidade administrativa em lidar com a transição de uma orientação prescrita do planeamento para uma análise baseada no desempenho. A complexidade do processo não foi refletida por uma mudança institucional consistente. Em muitos casos da análise, os responsáveis pelo planeamento não empregam, nem interpretam corretamente as ferramentas auxiliares do planeamento, por exemplo, tabelas de

avaliação, resultados ambientais desejados e códigos de desempenho. Como os esquemas do planeamento prescritivo incluem soluções aceitáveis, que permitem acompanhar o processo, a tendência limita-se em prosseguir com o seu uso e não adotar as ferramentas de avaliação do desempenho. Consequentemente, os responsáveis tendem a reverter a implementação para a abordagem de zonamento mais facilmente compreensível, resultando um processo pouco ou nada planeado, que oferece uma fusão débil do planeamento prescritivo com o PBD.

Em jeito de síntese, e segundo Leitão e Varela (2020), torna-se possível reunir quatro observações importantes relativas à implementação da abordagem inovadora.

- A colocação do PBD em prática não implica apenas uma mudança nas normas do planeamento, mas também uma mudança institucional completa nos órgãos responsáveis.
- A dependência de elementos específicos de desempenho pode ser extremamente ambígua e oscilante. Por exemplo, a capacidade discricionária nas tomadas de decisão pode aumentar a agilidade da abordagem, porém uma interpretação errada das visões coletivas do planeamento pode levar à incerteza e oposição da população, como uma consequência adaptativa da abordagem.
- A perceção genérica da falta e vulnerabilidade de um conceito objetivo de planeamento no *background* dos planos, pode constituir um entrave à metodologia.
- A última observação reside na constatação da necessidade de uma participação mais significativa e ativa por parte dos responsáveis pelo planeamento, aquando da formação do processo de decisão. Isto é, por via de um envolvimento mais próximo e conhecedor da realidade, fundamentando-se no conhecimento local e numa memória coletiva. Em vez de conceber somente um plano, devem estar internamente implicados em todo o processo para fornecer orientações e melhorar a articulação entre as partes envolvidas (governo, instituições, responsáveis pelo planeamento e o público em geral).

No contexto particular deste trabalho, o objetivo é compreender qual a alternativa de reconversão para a área da Pedreira da Madalena que pode conduzir à maximização dos SE de regulação eleitos e com maior grau de equidade espacial dos benefícios gerados. A incorporação do PBD nesta fase do processo de recuperação de uma antiga área de extração permite corrigir e devolver ao local a justiça ambiental, que outrora foi lesada pelo crescimento desenfreado do mercado imobiliário em redor da exploração mineira.

Certos problemas ambientais sucedem longe da vida quotidiana citadina, como a contaminação das águas do mar, as explorações de petróleo dispersas pelo globo e a desflorestação de zonas como a Amazónia. Contudo, subsistem também incontáveis problemas ambientais nas cidades e nas vilas onde habitamos: o ar poluído que se respira, a poluição sonora que impede o descanso adequado, a escassez de árvores para proporcionar sombra, os resíduos nas ruas e o predomínio de betão e asfalto nas áreas habitacionais, são alguns dos problemas que nos afetam diretamente no nosso dia-a-dia, que acarretam riscos graves para a saúde e o bem-estar. A justiça ambiental centra-se nestes riscos para o cidadão comum, mas também procura evidenciar a forma como estes influenciam determinados grupos sociais mais que outros (Verheij, 2020).

### **3.4. A JUSTIÇA AMBIENTAL E A SUSTENTABILIDADE URBANA**

Atualmente, o conceito de justiça ambiental tem sido empregue a conflitos ambientais por todo o mundo, sendo que parte se localiza em meios rurais. Porém, como enfrenta essencialmente os riscos ambientais do quotidiano, tem uma ligação particular com os meios urbanos, locais onde se concentram grande parte das atividades do dia-a-dia (Verheij, 2020). Este conceito inclui diferentes campos de pesquisa e incorpora dados de dimensões sociais como idade, origem e género, integra também a exposição aos riscos ambientais e questões de acessibilidade (Walker, 2012).

Um dos principais objetivos do planeamento urbano sustentável consiste em garantir e promover recursos sociais e económicos de forma uniforme e duradoura, com o intuito de melhorar a qualidade e as condições do ambiente urbano (Berke & Conroy, 2000). O conceito de justiça ambiental assenta no princípio geral de que todas as pessoas têm o direito de ser protegidas em relação às questões ambientais (por exemplo, poluição, mudanças climáticas) e que têm acesso aos mesmos serviços (exemplificando, espaços verdes, serviços sociais, transportes) no sistema urbano em que se inserem (Agyeman & Evans, 2004).

A conceção de 'justiça ambiental' ergueu-se de um movimento ativista com origens nos EUA, na segunda metade do século XX. A iniciativa lutava em prol de uma maior proteção ambiental de populações necessitadas e marginalizadas, que se encontravam desproporcionalmente expostas a riscos ambientais, em grande parte devido à localização de resíduos tóxicos nos seus bairros (Verheij, 2020). Desta forma, fortaleceu-se a ideia de abordar os problemas ambientais como estando intrinsecamente conexos às desigualdades verificadas. Em concordância com esta abordagem, “a crise ambiental e a injustiça social são duas faces da mesma moeda” (Verheij, 2020, p.1).

Na década de 90 o termo 'equidade' caiu em desuso e foi sucedido pelo termo 'justiça', alegadamente mais inclusivo, que integrava conceitos como equidade, igualdade e imparcialidade. Em 1991, surgiu pela primeira vez a designação de 'justiça ambiental' no *First National People Of Color Environmental Leadership Summit*, nesse mesmo evento foi apresentado um documento que enumerava 17 princípios relativos à justiça ambiental, que posteriormente serviu para fundamentar as bases do novo conceito (Beites, 2020). Em 1994, foi publicada uma ordem executiva: *Executive Order 12898 – Federal Actions to Address Environmental Justice in Minority Populations and Low-Income Populations* que tinha como intuito destacar os efeitos ambientais e a saúde humana de populações minoritárias com rendimentos baixos, a fim de alcançar a proteção ambiental para todas as comunidades. A divulgação e promulgação da ordem executiva transformou uma causa cívica numa obrigação federal e, categoricamente em 1995, definiu-se uma 'Estratégia de Justiça Ambiental' (Beretta, 2012; Beites, 2020).

A *Environmental Protection Agency* (EPA) assenta o conceito de 'justiça ambiental' como "o tratamento justo e o envolvimento significativo de todas as pessoas, independentemente de raça, cor, origem ou rendimento, no que diz respeito ao desenvolvimento, implementação e aplicação de leis, regulamentos e políticas ambientais" (EPA, 2021, p. 1). Neste contexto, podem ser ainda definidos dois sub-conceitos: 'tratamento justo' e 'envolvimento significativo'.

Segundo a EPA, o 'tratamento justo' remete para a ideia de que "nenhum grupo de pessoas deve ter uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas resultantes de operações ou políticas industriais, governamentais e comerciais" (EPA, 2021, p. 1).

Por sua vez, a EPA (2021) considera que o 'envolvimento significativo' pode ser estabelecido e definido através de quatro aspetos:

- As pessoas têm que ter a oportunidade de participar nas decisões sobre atividades que possam afetar o seu ambiente e/ou saúde;
- A contribuição do público pode influenciar a decisão da agência reguladora;
- As preocupações da comunidade serão consideradas no processo de tomada de decisão;
- Os responsáveis pela tomada de decisão buscarão e facilitarão o envolvimento das pessoas potencialmente afetadas.

A conceção de 'justiça ambiental' é multifacetada e apresenta várias terminologias associadas e consequentes. O conceito de justiça ambiental não é igual nos EUA e na UE. Visto que, tanto o fundo cultural como legal de ambos os países são diferentes, será natural haver disparidades na sua definição (Beites, 2020). Beretta (2012) declara que a justiça ambiental na UE é mais plausível que seja

compreendida, analisada e enquadrada em categorias como classe e rendimento, em vez de raça e etnia como ocorre nos EUA. Equiparando os EUA e a UE relativamente à justiça ambiental, ambos “diferem relativamente às filosofias subjacentes das políticas públicas, percepção dos problemas envolvidos, e a possibilidade de conceder uma abordagem harmonizada” (Beretta, 2012, p. 154). Beretta (2012) considera que a formulação de uma definição europeia para as desigualdades ambientais pode ser caracterizada como um problema quádruplo:

1. Desigualdades à exposição e acesso – distribuição desigual da qualidade ambiental entre indivíduos e grupos;
2. Desigualdades de efeito político - traduz-se pelo efeito desigual de políticas ambientais;
3. Desigualdades de impacto - o impacto ambiental difere entre indivíduos e grupos sociais, dependendo de fatores como rendimentos e/ou estilo de vida;
4. Desigualdades na formulação de políticas – acesso heterogéneo a políticas ambientais.

A justiça ambiental pode ser interpretada em várias escalas espaciais. Relativamente à justiça ambiental global, um dos firmamentos de maior escala e mais recente, passa, por exemplo, pelo Acordo de Paris que entrou em vigor a 4 de novembro de 2016 (Beites, 2020). O Acordo de Paris consiste num compromisso mundial sobre as alterações climáticas e prevê metas para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Ao longo dos anos, foram várias as iniciativas à escala global que tentaram mitigar os efeitos negativos das alterações climáticas, tendo como referência e ponto de partida, o Protocolo de Quioto, que foi o primeiro tratado jurídico internacional que expressamente pretendia limitar as emissões quantificadas de gases com efeito de estufa dos países desenvolvidos (APA, 2021), entrando em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

A justiça ambiental local, regional e nacional diz fundamentalmente respeito ao dever de gerações atuais proporcionarem um ambiente saudável e seguro para as gerações futuras, evitando a ocorrência de casos de degradação ambiental por força dos agentes económicos, submetidos ao mercado imobiliário que busca o lucro a curto prazo. Esta vertente da justiça ambiental deve ser analisada numa escala mais pormenorizada, cada cidade ou país é responsável por si mesmo (Beites, 2020). Visto por este prisma, torna-se possível assumir com propriedade que não há justiça ambiental global se não houver primeiro justiça ambiental local, regional e nacional.

A justiça ambiental ocorre por exemplo, quando uma infraestrutura verde se encontra igualmente distribuída, sem discriminação, dentro de uma cidade (Silva *et al.*, 2018). Visto assim, a justiça ambiental seria simples de pôr em prática numa cidade planeada de raiz, ou então num projeto de recuperação de

uma cidade já existente e sem limite de custos. Mas na realidade, trata-se de algo mais complexo que só seria exequível a longo prazo com medidas restritas (Beites, 2020). Na maioria das soluções a curto prazo projeta-se uma recuperação individual de determinadas áreas degradadas, com o propósito de aumentar os espaços verdes, melhorar a qualidade de vida e o bem-estar dos residentes, a fim de introduzir alguma justiça ambiental (Silva *et al.*, 2018) nos municípios em causa. Contudo, neste caso a resolução de um problema pode, por vezes, revelar-se contraproducente. O fenómeno de gentrificação, que corresponde a um processo de valorização de uma determinada zona de habitação, que provoca o afastamento de residentes com menor poder económico, dando lugar à entrada de novos habitantes com maior poder económico, resulta muitas vezes dos projetos de recuperação de áreas degradadas (Beites, 2020). Para que tal não se verifique, torna-se necessário proporcionar uma cidade ambientalmente justa que inclua todos os habitantes.

Resumindo, a justiça ambiental urbana procura compreender e identificar os locais onde os riscos ambientais são mais propícios nas cidades, quais os grupos sociais que são mais lesados pelos mesmos e de que maneira é que as políticas urbanas colaboram para minimizar a distribuição desajustada. Em simultâneo, a justiça ambiental apoia o envolvimento ativo das populações nos processos de tomada de decisão que dizem respeito ao meio ambiente das suas áreas habitacionais, promovendo não apenas uma distribuição justa de bens e valores, mas impulsionando a conquista pelo direito de intervir nos processos que regularizam essa disposição. Por conseguinte, a participação pública é um dos elementos fulcrais que rege a justiça ambiental (Verheij, 2020).

As adversidades ambientais são transversais a várias cidades europeias. Os governos locais têm como função assegurar que estas sejam evitadas ou mitigadas, bem como garantir que os bens ambientais, como por exemplo os espaços verdes e a qualidade da paisagem, sejam repartidos de modo justo pela cidade e respetiva população. A justiça ambiental é intrínseca à sustentabilidade urbana, melhorar a qualidade ambiental só para determinado grupo social não permite o desenvolvimento sustentável (Verheij, 2020).

A incorporação do conceito de justiça ambiental a par com os SE, por via do PBD, nas atuais políticas de sustentabilidade urbana, pode legitimar uma divisão mais justa dos bens e recursos ambientais nas cidades, e assim salvaguardar que uma quantidade crescente de cidadãos possa usufruir de um meio ambiente limpo, seguro e saudável.

## **4. METODOLOGIA PROPOSTA**

O quarto e último capítulo desta primeira parte da dissertação apresenta e esquematiza a metodologia implementada para a análise da oferta e da procura dos SE presentes na Pedreira da Madalena e sua envolvente.

A metodologia proposta, muito simplificada, divide-se em sete etapas essenciais e resulta da articulação de três publicações-chave: Geneletti *et al.* (2020), Derkzen *et al.* (2015) e Cortinovis e Geneletti (2020). A primeira etapa diz respeito à caracterização da área delimitada para estudo, logo de seguida procede-se ao estudo das áreas de produção, definidas individualmente para cada SE. Partindo da informação obtida no ponto anterior delimita-se as áreas de benefício dos SE eleitos. Na fase seguinte, toda esta informação é sintetizada, originando o mapa da 'oferta combinada de SE'. Posteriormente, a procura relativamente a cada serviço é definida à escala da subsecção estatística, recorrendo a variáveis modeladoras da realidade (população sensível e áreas expostas), previamente normalizadas. Nesta sequência, a estatística espacial permite obter o mapa da 'procura integrada de SE'. Na última etapa, com o intuito de validar a abordagem metodológica descrita, e ilustrar de modo mais claro a sua aplicabilidade, selecionam-se de forma complementar duas áreas amostra onde, segundo o Plano Diretor Municipal de Vila Nova de Gaia (2009), poderão vir a decorrer processos de urbanização.

### **4.1. ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A primeira etapa, classificação e delimitação da área de estudo, tem como base a metodologia proposta em Geneletti *et al.*, (2020). Para dar início à prova de conceito será necessário eleger uma área de estudo, ou seja, definir uma área em redor da Pedreira da Madalena que possa ser beneficiada por uma alternativa de recuperação da pedreira. Com o intuito de concretizar a delimitação do local em estudo e recorrendo ao *software* ArcGIS, realiza-se um *buffer* de 500 metros em torno do perímetro da pedreira, ficando deste modo definida a área de influência, cujo os SE poderão ser maximizados pela reconversão em causa.

Após restringida a área de estudo, recorre-se aos dados geoespaciais do *Urban Atlas*, datados do ano de 2018, disponibilizados pelo programa Copernicus. O 'Copernicus' é um Programa de Observação da Terra da União Europeia, que estuda o nosso planeta e o seu ambiente em benefício de todos os cidadãos europeus. Assim sendo, oferece serviços de informação baseados na observação da Terra por satélite e dados *in situ* (não espaciais) (Copernicus, 2021). Através dos dados recolhidos, torna-se possível aceder a uma classificação detalhada dos tipos de uso do solo para a área delimitada (Figura 9).

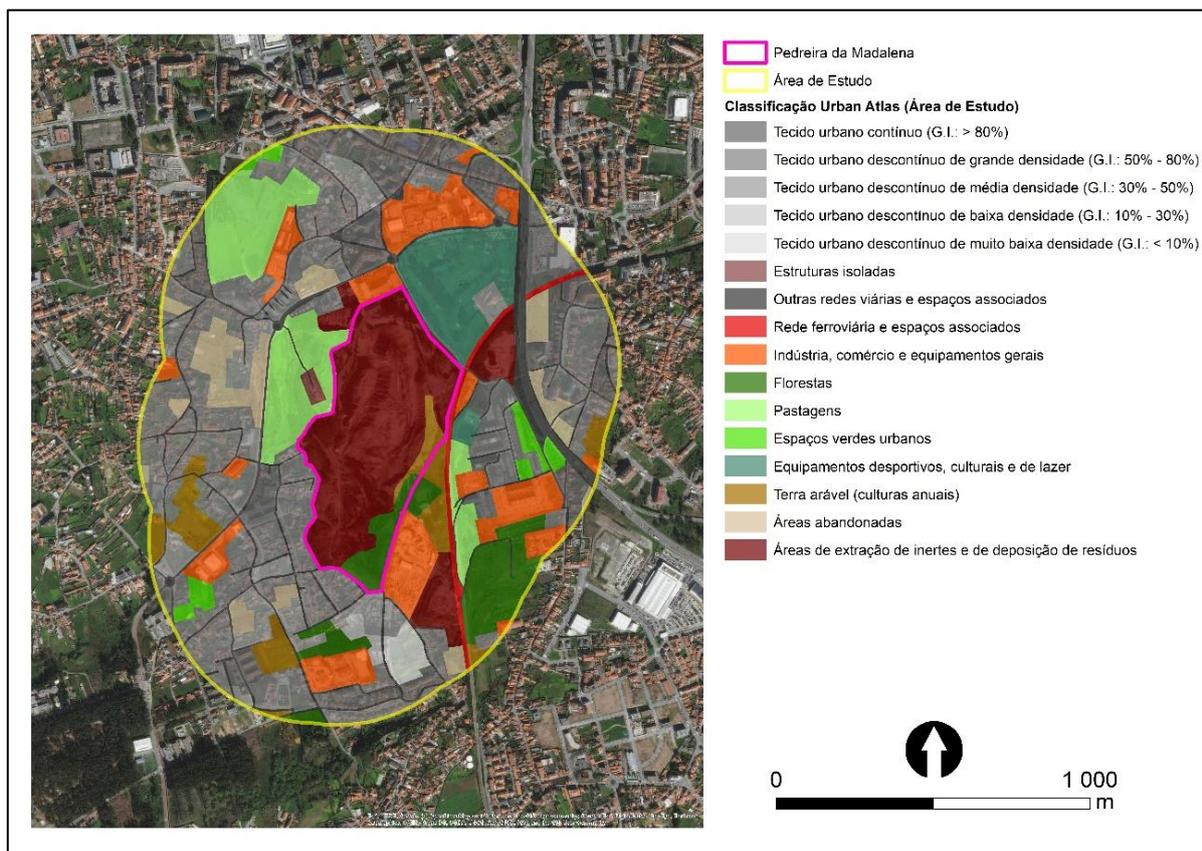


Figura 9 - Usos do solo presentes na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

Uma vez organizada a informação base, procede-se à classificação de cada ocupação/uso do solo de acordo com quatro categorias, baseadas na metodologia adotada de Geneletti *et al.* (2020). Essas categorias, seguidamente apresentadas, representam quatro realidades distintas para o uso do solo (Figura 10):

- Áreas edificadas e impermeabilizadas – Solo construído, artificializado e maioritariamente impermeável.
- Solo nu / descoberto – Solo árido, isto é, sem vegetação.
- Vegetação herbácea e arbustiva – Solo com vegetação baixa ou rasteira, inclui relvados, pequenos arbustos e canteiros.
- Vegetação arbórea – Solo com árvores ou bosques.

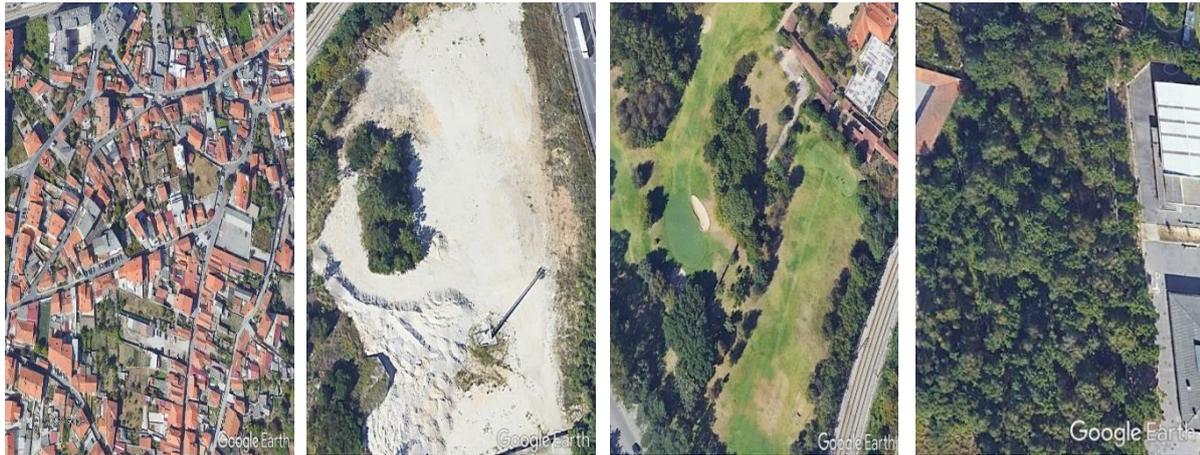


Figura 10 - Representação dos tipos de cobertura do solo (da esquerda para direita: áreas edificadas e impermeabilizadas, solo nu, vegetação herbácea e arbustiva, vegetação arbórea).

(Fonte: Google Earth [2021]).

A Tabela 6 tem como objetivo apresentar e sintetizar as classificações atribuídas aos 16 usos do solo identificados na secção seleccionada para estudo. Em determinados usos do solo, nomeadamente 'áreas abandonadas' e 'espaços verdes urbanos', as distintas parcelas que os compõem podem pertencer a categorias diferentes, uma vez que em algumas situações estaremos perante coberturas do solo compostas maioritariamente por vegetação herbácea e arbustiva e outras situações serão de carácter arbóreo.

Tabela 6 - Distribuição dos usos do solo presentes na área de estudo pelas quatro categorias.

Uso do solo (Nomenclatura Urban Atlas 2018)	Áreas edificadas e impermeabilizadas	Solo Nu	Vegetação herbácea e arbustiva	Vegetação arbórea
TUC (G.I.: > 80%)	x			
TUD de grande densidade (G.I.: 50% - 80%)	x			
TUD de média densidade (G.I.: 30% - 50%)	x			
TUD de baixa densidade (G.I.: 10% - 30%)	x			
TUD de muito baixa densidade (G.I.: < 10%)			x	
Estruturas isoladas	x			
Indústria, comércio e equipamentos gerais	x			
Outras redes viárias e espaços associados	x			
Rede ferroviária e espaços associados	x			
Áreas de extração de inertes e de deposição de resíduos		x		
Áreas abandonadas			x	x
Espaços verdes urbanos			x	x
Equipamentos desportivos, culturais e de lazer			x	
Terra arável (culturas anuais)			x	
Pastagens			x	
Florestas				x

Para realizar a classificação pretendida será necessário recorrer à edição da tabela de atributos correspondente à área de estudo, a conceção de um novo campo permitirá inserir valores com correspondência numérica às categorias: áreas edificadas e impermeabilizadas (1), solo nu (2), vegetação herbácea e arbustiva (3) e vegetação arbórea (4).

## 4.2. ETAPA 2 – MAPAS DE ‘PRODUÇÃO’ DOS SE

As áreas de produção, definidas individualmente para cada SE, têm como referência a metodologia proposta em Geneletti *et al.* (2020).

Nesta fase, a metodologia aplicada pretende realizar uma análise entre duas variáveis: uma que diz respeito ao uso do solo, sendo esta a variável modificável, a fim de compor diferentes alternativas para a cobertura do solo, e a outra variável que remete para a capacidade de prestação dos SE eleitos.

Os SE adotados neste estudo, apresentados na Tabela 7, são iminentemente de regulação, visto que os benefícios são obtidos através das funções de regulação dos processos naturais. Contudo, se atendermos à classificação por grupo de benefícios, os serviços podem ser agrupados conforme a seguinte tabela.

Tabela 7 - Serviços ecossistêmicos em estudo (Mazza *et al.*, 2011).

GRUPO DE BENEFÍCIO	SERVIÇO ECOSISTÊMICO
<b>Regulação e Mitigação Climática</b>	Sequestro (remoção e armazenamento natural) de carbono [SC]
	Regulação microclimática (Arrefecimento do Ar) [RM]
<b>Saúde Pública</b>	Melhoria da qualidade do ar (Remoção de poluentes atmosféricos PM <sub>10</sub> ) [MQA]
	Mitigação do ruído (Ruído rodoviário e ferroviário) [MR]

As diferentes alternativas de cobertura do solo produzem efeitos distintos nos SE escolhidos, que se podem traduzir em benefícios, que por sua vez originam valores monetários e não-monetários.

No caso do **sequestro de carbono** os benefícios quantitativos residem, por exemplo no aumento da quantidade total de carbono removido da atmosfera e no alcance das metas estabelecidas internacionalmente em matéria de alterações climáticas. O valor monetário, por sua vez, pode ser traduzido pelo preço dos créditos de carbono no mercado internacional (Crédito de Carbono ou Redução

Certificada de Emissões), que são certificados emitidos para quem reduziu a emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Desta forma, convencionou-se que uma tonelada de CO<sub>2</sub> corresponde a um crédito de carbono (Mazza *et al.*, 2011).

O serviço em causa pode ser definido, como o próprio nome indica, pela capacidade natural de sequestro, a longo prazo, de gases com efeito de estufa. As suas áreas de produção remetem para florestas, solos e zonas húmidas e as suas vastas áreas de benefício estão presentes à escala regional e global. Os potenciais indicadores de necessidade de intervenção prendem-se com a emissão excessiva de gases pelo tráfego, indústria e áreas urbanas (t CO<sub>2</sub>/ha/ano) (Burkhard *et al.*, 2014).

As estratégias de atenuação das mudanças climáticas reconhecem a importância da biomassa para o armazenamento de carbono (Canadell & Raupach, 2008) e embora a contribuição dos espaços verdes urbanos seja relativamente pequena e subvalorizada em determinadas avaliações, o seu potencial como reservatório de carbono é considerável (Hostetler & Escobedo, 2010).

Para a quantificação do armazenamento de carbono existem dois fatores fundamentais a ter em conta:

- O primeiro diz respeito ao volume de biomassa, que é proporcional à capacidade de armazenamento de carbono das árvores. Em 2002, Nowak & Crane publicaram um estudo em que referiam que árvores grandes armazenam 1000 vezes mais carbono do que árvores pequenas.
- O segundo fator remete para o tipo de vegetação. Quase todo o sequestro de carbono acima do solo ocorre em árvores e apenas uma pequena percentagem é armazenada em arbustos e vegetação herbácea (Davies *et al.*, 2011). Neste sentido, é importante realçar que nas cidades, os típicos espaços verdes urbanos compostos por árvores podadas, relvados e canteiros de flores usualmente não sequestram muito CO<sub>2</sub> e a sua manutenção pode até mesmo emitir quantidades consideráveis de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O, atendendo às práticas de fertilização muitas vezes utilizadas (Jo & Mcpherson, 1995; Escobedo, Seitz & Zipperer, 2012). No entanto, os solos também abarcam uma grande quantidade de carbono, em particular os solos que se situam por baixo de superfícies com relvados (Pouyat, Yesilonis & Nowak, 2006; Edmondson *et al.*, 2012).

A quantificação do carbono do solo em contextos urbanos é complexa, uma vez que os solos urbanos são frequentemente combinados e alterados (Raciti, Hutyra & Finzi, 2012), o que faz com que a maioria dos estudos se concentre no armazenamento de carbono acima do solo (e.g. Dobbs, Escobedo & Zipperer, 2011).

Neste caso em específico, define-se este SE como o armazenamento bruto de carbono acima do solo e considera-se a quantidade de carbono armazenado, em vez da sua dinâmica no tempo, isto é, o fluxo de carbono (Derkzen *et al.*, 2015).

O armazenamento de carbono nos espaços verdes urbanos é comumente quantificado usando informações de amostras de campo de biomassa e equações de crescimento (Dobbs, Escobedo & Zipperer, 2011; Raciti *et al.*, 2012). Alguns estudos produzem estimativas de armazenamento por unidade de uso do solo ou cobertura vegetal (Nowak *et al.*, 2013). No presente estudo aplicam-se estimativas de sequestro de carbono específicas para todas as categorias de cobertura do solo. Os valores de produção médios de sequestro de carbono atribuídos a cada tipo de cobertura do solo são apresentados na Tabela 8 e estão expressos em kg de carbono por m<sup>2</sup>.

Tabela 8 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de 'sequestro de carbono' para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10.

(Fonte: Adaptado de Geneletti *et al.*, 2020).

Cobertura do Solo	SE	
	Sequestro de Carbono	
Áreas edificadas e impermeabilizadas	-	0
Solo Nu	8,2 kg/m <sup>2</sup>	5,3
Vegetação herbácea e arbustiva	8,4 kg/m <sup>2</sup>	5,4
Vegetação arbórea	15,5 kg/m <sup>2</sup>	10

A avaliação da produção dos quatro SE selecionados será baseada em valores médios para diferentes tipos de ecossistemas urbanos, recuperados de estudos anteriores em contextos urbanos (McPhearson *et al.*, 2013; Derkzen *et al.*, 2015; Zardo *et al.*, 2017). A Tabela 8 resume os valores de produção atribuídos às quatro categorias de cobertura do solo (áreas edificadas e impermeabilizadas, solo nu, vegetação herbácea e arbustiva e vegetação arbórea) para o serviço de remoção e armazenamento natural de carbono. No caso concreto do sequestro de carbono, este SE será estimado para coberturas com vegetação arbórea, rasteira e solo nu, adotando os mesmos valores médios aplicados por McPhearson *et al.* (2013) para a cidade de Nova York.

O serviço da **melhoria da qualidade do ar** pode ser definido pela capacidade de purificação atmosférica, traduzida pelas toneladas de poluentes removidas por hectare, pela redução de fluxos de

deposição seca de poluentes (gasosos e particulados) e pela remoção de  $PM_{10}$  - partículas inaláveis, de diâmetro inferior a 10 micrómetros ( $\mu m$ ) - pela cobertura arbórea (Mazza *et al.*, 2011).

O SE da melhoria da qualidade do ar pode ter como benefícios quantitativos, por exemplo o aumento da quantidade total de poluentes removidos da atmosfera, o alcance dos objetivos estabelecidos por lei em matéria de qualidade do ar e a redução da mortalidade por doenças respiratórias. Estes fatores podem ser economicamente convertidos em redução de custos em medidas de controlo da poluição do ar e poupança em cuidados de saúde, nomeadamente em doenças respiratórias (Mazza *et al.*, 2011).

As áreas típicas de produção deste serviço, que se caracteriza pela remoção de poluentes atmosféricos, normalmente são as florestas e os espaços verdes urbanos. Por sua vez, as áreas de benefício estão associadas a espaços urbanos e industriais. A necessidade de estudo e análise deste serviço é, muitas vezes, despertada pelos níveis de poluição atmosférica e pelos desvios em relação aos *standards* de qualidade do ar (Burkhard *et al.*, 2014).

A poluição do ar é atualmente considerada o principal risco ambiental para a saúde global (WHO, 2021). Nas cidades, as instalações de tratamento de resíduos, a indústria, os transportes e o aquecimento residencial são potenciais fontes de poluição do ar, que conduzem ao aumento da ocorrência de doenças cardiovasculares e respiratórias (Derkzen *et al.*, 2015). As áreas com vegetação podem melhorar a qualidade do ar, filtrando as partículas atmosféricas, como o dióxido de nitrogénio ( $NO_2$ ), material particulado ( $PM_{10}$ ) e o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) (Maas *et al.*, 2006; Tzoulas *et al.*, 2007; Gómez-Baggethun & Barton, 2013). Estudos indicam que a vegetação absorve maior quantidade de poluentes quando as concentrações de poluição são mais elevadas (Derkzen *et al.*, 2015). Seguindo esta linha de pensamento torna-se fundamental ter árvores perto de uma fonte de emissão de poluentes, de modo a beneficiar a qualidade do ar em toda a cidade, apesar de existir uma forte relação dos benefícios deste SE com uma escala local, onde as árvores tentam impedir que as emissões de poluentes se misturem com a atmosfera circundante, levando a altas concentrações de poluição localizada (efeito: *street canyon effect*-Figura 11) (Vos *et al.*, 2013). Assim sendo, neste estudo define-se o conceito de purificação do ar como a redução das concentrações de poluição do ar de fundo.



Figura 11 - Representação esquemática *Street Canyon Effect*.

Tendo por base os vários poluentes, este caso de estudo foca-se essencialmente nas partículas inaláveis ( $PM_{10}$ ), uma vez que estas são consideradas as mais prejudiciais à saúde dos cidadãos (Derkzen *et al.*, 2015) e são eficazmente capturadas pelos espaços verdes urbanos (Chaparro & Terradas, 2009). A absorção de poluentes aumenta quanto maior for a área foliar, de modo que as plantas mais altas e as árvores apresentam maior eficiência. No entanto, a capacidade de filtragem também depende de outros fatores como o período de folhagem, a biomassa, a constância de cobertura, a localização e a concentração de poluição (Escobedo & Nowak, 2009). Em determinadas situações, os aspetos meteorológicos, como a precipitação, também podem influenciar as taxas de remoção de poluição (Chaparro & Terradas, 2009).

A base de muitos estudos passa por derivações matemáticas e modelos como o *Urban Forest Effects* (UFORE) ou *i-Tree Model* (Nowak & Crane, 2000) para calcular a captura de poluentes atmosféricos a partir dos espaços verdes urbanos (Roy, Byrne & Pickering, 2012). A principal desvantagem desses métodos reside no facto de o padrão heterogéneo dos espaços verdes urbanos presentes em muitas cidades não ser tido em consideração. Portanto, para este estudo da melhoria da qualidade do ar distingue-se novamente as quatro coberturas do solo principais e as suas respetivas capacidades de captura de partículas inaláveis poluentes, expressas em g de  $PM_{10}$  capturado por  $m^2$  de cobertura de solo por ano (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de 'melhoria da qualidade do ar' para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10. (Fonte: Adaptado de Geneletti *et al.*, 2020).

Cobertura do Solo	SE	
	Melhoria da qualidade do ar	
Áreas edificadas e impermeabilizadas	-	0
Solo Nu	-	0
Vegetação herbácea e arbustiva	1,12 g/m <sup>2</sup> /ano	2
Vegetação arbórea	2,73 g/m <sup>2</sup> /ano	5

A abordagem aplicada para avaliar a produção da remoção da poluição do ar é semelhante à utilizada no serviço de sequestro de carbono, neste caso o foco recai na deposição de  $PM_{10}$  nas áreas de vegetação herbácea e arbustiva e de vegetação arbórea (McPhearson *et al.*, 2013).

Com base na metodologia descrita em Derkzen *et al.* (2015) para a avaliação dos benefícios, na próxima etapa, os valores de remoção de poluição do ar serão duplicados para as áreas verdes localizadas dentro de um *buffer* de 50 m realizado em torno da rede viária e ferroviária, a fim de contabilizar a maior concentração de PM<sub>10</sub> que permite aumentar o fluxo de deposição. As principais fontes de poluição consideradas neste estudo são as estradas e a linha férrea e quanto mais próximo delas, maior é o nível de redução da concentração de poluição do ar oferecido pelas áreas de produção, ou seja, maior é a taxa de purificação do ar.

**Nota:** Os valores de produção normalizados atribuídos ao SE de ‘melhoria da qualidade do ar’ para as diferentes coberturas do solo foram adaptados ao caso em estudo, afim de permitir a articulação entre as diferentes publicações empregues na análise e perpetuar a normalização dos valores numa escala entre 0 a 10.

O serviço de **regulação microclimática** modifica as características locais do clima, por exemplo o balanço radiativo e energético, a temperatura do ar, a humidade relativa do ar e os ventos locais/brisas, com a atenuação dos extremos climáticos. Este SE tem como indicadores das suas funções ecológicas: a amplitude de temperaturas do ar e da superfície, a precipitação, o vento e a taxa de evapotranspiração (Burkhard *et al.*, 2014). Pode apresentar como benefícios a redução das temperaturas de superfície no pico do verão, a poupança energética nos edifícios, tanto em aquecimento como arrefecimento, a diminuição do número de casos desfavorecidos sujeitos ao risco de danos causados por fenómenos climatológicos extremos (vento e frio) e a redução de áreas vulneráveis às tempestades. Os valores monetários podem ser traduzidos pela redução dos custos de construção em sistemas de aquecimento e arrefecimento e evitar custos extras em materiais danificados por possíveis intempéries (Mazza *et al.*, 2011).

As áreas típicas de produção deste serviço correspondem às florestas, zonas húmidas, áreas verdes urbanas e corredores naturais de ventilação. Por outro lado, as áreas de benefício recaem sobretudo nos espaços residenciais, industriais e nas áreas de lazer. Os potenciais indicadores de exigência, que caracterizam a necessidade de intervenção podem ser, por exemplo períodos de calor extremos (dias/ano) e o uso em grande escala de ar condicionado (Kwh/ano) (Burkhard *et al.*, 2014).

Atualmente, é de conhecimento geral que as mudanças climáticas irão conduzir a um aumento na frequência e intensidade das ondas de calor, levando à subida dos custos de energia (Gómez-Baggethun & Barton, 2013) e ao crescimento dos valores da morbidade e da mortalidade (Reid *et al.*, 2009; Lung *et al.*, 2013). As consequências das alterações climáticas são mais pronunciadas nas cidades por dois motivos: primeiro, devido à alta densidade populacional e, em segundo, por causa do chamado efeito de

ilha de calor urbana (Yang, Lau & Qian, 2011; Georgescu *et al.*, 2014). O efeito da ilha de calor urbana é fundamentalmente causado por superfícies pavimentadas ou impermeabilizadas, que impedem a evapotranspiração e a penetração da água nos solos, pela presença de estruturas densas e de grandes dimensões que reduzem a velocidade do vento e pela aplicação de materiais de construção escuros que absorvem a energia solar durante o dia e libertam o calor gradualmente à noite, não permitindo o processo completo de arrefecimento do ar (Wilby, 2003; Weng, Lu & Schubring, 2004). Os espaços verdes urbanos promovem o arrefecimento, o que permite moderar o efeito da ilha de calor urbana, aumentando o conforto humano e reduzindo o consumo de energia (Gill *et al.*, 2007).

A presença de vegetação pode auxiliar a regulação microclimática urbana, uma vez que permite (Derkzen *et al.*, 2015):

- interceptar a radiação solar incidente (sombra);
- realizar o processo de evapotranspiração;
- alterar a circulação do ar e a troca de calor.

O efeito da sombra e a evapotranspiração contribuem essencialmente para a concretização do arrefecimento (Derkzen *et al.*, 2015). A sombra e a evapotranspiração são determinadas pela estrutura do ecossistema, ou seja, pela arquitetura dos seus componentes (Geneletti *et al.*, 2020). A contribuição do vento para as avaliações da capacidade de arrefecimento, por outro lado, é bastante complexa de ter em conta dada a sua dependência de condições específicas do caso em estudo (por exemplo, presença de edifícios e direções de ruas), que não estão diretamente ligadas às funções do ecossistema ou aos componentes das infraestruturas verdes urbanas (Bowler *et al.*, 2010). O arrefecimento através dos espaços verdes urbanos depende das temperaturas de fundo. As taxas mais elevadas de arrefecimento são obtidas em dias quentes (Shashua-Bar & Hoffman, 2000). Além disso, o arrefecimento derivado da vegetação depende das estações do ano, já que muitas árvores e plantas ficam sem folhas no inverno (Yuan & Bauer, 2007). As manchas de vegetação possibilitam um arrefecimento de 1 a 4 °C, que diminui com o aumento da distância (perceptível até algumas centenas de metros para pequenos espaços verdes) e depende do uso do solo, do tipo de vegetação e da conjugação espacial (Xie *et al.*, 2013). Enquanto todos os outros tipos de vegetação fornecem um arrefecimento regional por meio da evapotranspiração, as árvores apresentam o bônus e a particularidade de aprovisionarem um arrefecimento local por meio de sombras (Derkzen *et al.*, 2015).

Neste caso de estudo para o serviço de regulação microclimática adapta-se a metodologia apresentada por Geneletti *et al.* (2020), que se baseia novamente nas quatro coberturas do solo, mas desta vez foca-se nas suas capacidades de arrefecimento e os valores estão expressos em Celsius (°C) (Tabela 10).

Tabela 10 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de 'regulação microclimática' para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10.

(Fonte: Adaptado de Geneletti *et al.*, 2020).

Cobertura do Solo	SE	
	Regulação Microclimática	
Áreas edificadas e impermeabilizadas	-	0
Solo Nu	1,2 °C	3,3
Vegetação herbácea e arbustiva	1,2 °C	3,3
Vegetação arbórea	3,6 °C	10

Como indicado na Tabela 10, no estudo do arrefecimento o SE em causa será estimado para vegetação arbórea, rasteira e solo nu. Com base na metodologia de Geneletti *et al.* (2020), simplificada para o caso em análise, os valores de benefício do serviço de regulação microclimática serão obtidos após criar um *buffer* de 100 m em redor das áreas verdes urbanas que fornecem o serviço. Nas áreas englobadas pelo *buffer*, a pontuação concedida corresponderá a metade da pontuação atribuída à própria área verde, com o intuito de contabilizar o arrefecimento promovido pelas diferentes coberturas das infraestruturas verdes urbanas (vegetação herbácea e arbustiva ou árvores) e os efeitos nas periferias das mesmas. Na área delimitada para estudo, as principais áreas de produção da regulação microclimática correspondem aos espaços verdes urbanos, contudo os benefícios originados podem ser usufruídos até algumas centenas de metros dos mesmos.

A **mitigação do ruído** remete para a capacidade natural de absorção acústica. O aumento de pessoas/ano em zonas sensíveis de habitação, escolas, hospitais, espaços de recreio e lazer, onde os níveis sonoros máximos admissíveis por lei não são ultrapassados devido à utilização de barreiras acústicas naturais pode ser visto como um benefício quantitativo, que conduzirá uma vez mais à poupança em cuidados de saúde (Mazza *et al.*, 2011). As áreas de produção típicas deste SE são as florestas e os espaços verdes urbanos e as principais áreas de benefício são os espaços residenciais e as áreas de lazer.

A poluição sonora fomentada pelo tráfego, pelas obras de construção, entre outras fontes de ruído, é um problema muito recorrente nas cidades atuais. O incómodo provocado pelo ruído é prejudicial à qualidade de vida, ao conforto das poluições e aos ambientes de trabalho, esta perturbação pode aumentar o risco de problemas de saúde graves, como por exemplo perda auditiva e doenças cardiovasculares (Bolund &

Hunhammar, 1999; WHO, 2011). Os ecossistemas urbanos fornecem serviços de redução do ruído, uma vez que funcionam como um amortecedor natural do som (Van Renterghem, Botteldooren & Verheyen, 2012). A vegetação aprovisiona uma barreira direta e indireta ao ruído ambiental. Em relação às funções diretas, as barreiras ou cinturões verdes atenuam o ruído por absorção, dispersão e interferência destrutiva das ondas sonoras, contudo em algumas situações os níveis de som podem ser intensificados localmente, quando medidos logo abaixo das copas das árvores (Van Renterghem, Botteldooren & Verheyen, 2012). Os efeitos indiretos da mitigação do ruído são concebidos através da diminuição da velocidade do vento e graças à capacidade de absorção dos solos permeáveis (Derksen *et al.*, 2015).

Os espaços verdes urbanos também provaram ser capazes de oferecer serviços de mitigação de ruído por meio de efeitos psicológicos. Existem vários estudos que afirmam que o simples facto de observar a presença de uma parede verde pode contribuir para que as pessoas se abstraiam do incómodo causado pelo ruído. Outra forma de camuflar o incómodo proveniente das fontes de poluição sonora, passa por alterar a percepção do ruído, isto é, recorrendo a sons considerados vulgarmente agradáveis como a água corrente, o canto de pássaros, o som do vento a agitar as folhas, entre outros. Todos estes sons provenientes da natureza permitem reduzir e ao mesmo tempo mascarar o ruído de fundo perturbador (Irvine *et al.*, 2009). O efeito acústico dos espaços verdes urbanos pode ser influenciado por vários fatores (Chaparro & Terradas, 2009):

- A distância, isto é, quanto mais perto a vegetação é colocada da fonte de ruído, mais o ruído será silenciado;
- A frequência (Hz) das emissões do ruído, que muda com a intensidade do tráfego;
- As características da vegetação, que afetam a capacidade de mitigação do ruído. Os solos e a vegetação lenhosa começam a absorver o ruído em frequências mais baixas do que a vegetação frondosa (Samara & Tsitsoni, 2011) e as árvores que possuem maior diâmetro de tronco abafam o ruído em maior escala do que as árvores mais estreitas (Van Renterghem, Botteldooren & Verheyen, 2012). Da mesma maneira, as árvores de folhas largas absorvem o ruído de forma mais eficaz do que as árvores coníferas (Chaparro & Terradas, 2009). Por sua vez, a vegetação densa é muito mais eficiente na redução dos níveis de ruído do que a vegetação dispersa, visto que a última não permite a formação da típica função de barreira (Fang & Ling, 2003, 2005).
- Outros fatores que também podem afetar na redução do ruído são a duração do som, o clima (temperatura, humidade, direção e velocidade do vento) e o tipo de solo (Van Renterghem, Botteldooren & Verheyen, 2012). É de salientar que as superfícies da água operam

negativamente, pois transportam o som por longas distâncias (Attenborough, Li & Horoshenkov, 2007).

Neste caso de estudo define-se o SE de mitigação do ruído como a capacidade física da vegetação em atenuar o ruído ambiental. Nesta análise em específico tem-se em consideração dois fatores que influenciam os serviços de mitigação do ruído: as características da vegetação e a distância da fonte de ruído. O estudo recai sobretudo no ruído proveniente do tráfego rodoviário e ferroviário, uma vez que se trata de uma fonte constante e deveras perturbadora para a população (Derkzen *et al.*, 2015).

A realização de um *buffer* de 50 metros em torno das estradas e da linha férrea será usada para garantir que apenas as infraestruturas verdes urbanas a uma curta distância de uma fonte de ruído contribuem para a estimativa. A maioria dos efeitos de atenuação do ruído são medidos até uma distância de 50 m das fontes de poluição sonora, contudo num ambiente urbano denso, as ondas sonoras muito provavelmente serão bloqueadas pela presença de edifícios além dessa distância (Fang & Ling, 2003; Samara & Tsitsoni, 2011; Van Renterghem, Botteldooren & Verheyen, 2012).

Por fim, a capacidade de produção da mitigação do ruído será avaliada, uma vez mais, adotando-se os valores propostos por Geneletti *et al.* (2020). Neste caso, apenas se atribuem valores a duas categorias de cobertura de solo, para as quais se usam valores médios derivados de uma gama de taxas de mitigação de ruído presentes na metodologia adotada e expressos em dB (A) por 100 m<sup>2</sup> (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores de produção médios atribuídos ao SE de 'mitigação do ruído' para as diferentes coberturas do solo: valores médios dimensionais e normalizados para uma escala de 0 a 10.

(Fonte: Adaptado de Geneletti *et al.*, 2020).

Cobertura do Solo	SE	Mitigação do Ruído	
	Áreas edificadas e impermeabilizadas	-	-
Solo Nu	-	-	0
Vegetação herbácea e arbustiva	0,375 Db(A)/100m <sup>2</sup>	1,8	1,8
Vegetação arbórea	2 Db(A)/100m <sup>2</sup>	10	10

A aplicação do *buffer* em redor das principais fontes de poluição sonora garante que apenas as vegetações herbáceas, arbustivas ou arbóreas a 50 metros das procedências poderão originar benefícios de contenção do ruído. Considera-se que os efeitos de mitigação do ruído ocorrem até uma distância máxima de 50 metros das fontes de perturbação, pela teoria transpondo essa barreira dos 50 metros o

som indesejável já deverá ter sido absorvido pelas estruturas que ladeiam e cercam as estradas e a linha férrea, assim sendo, nestas situações o valor do ruído deverá ser nulo ou residual.

Depois de eleitos os SE, será necessário atribuir os valores de produção aos serviços em análise de acordo com os diferentes tipos de cobertura do solo.

Para atribuir os valores desejados aos SE selecionados, edita-se novamente a tabela de atributos da área de estudo e adicionam-se quatro novas colunas, cada uma correspondente a um SE, o que permite a classificação standardizada da capacidade de produção dos serviços.

Após a classificação standardizada atribuída, inicia-se o cálculo da capacidade de produção de cada serviço de acordo com área delimitada. Para tal realiza-se um conjunto de operações matemáticas que possibilitam a obtenção de um 'score de produção' para cada SE referente à área de estudo, numa escala compreendida entre 0 e 10.

### **4.3. ETAPA 3 - MAPAS DE 'BENEFÍCIO' DOS SE**

A etapa seguinte corresponde à avaliação dos benefícios dos SE eleitos. A elaboração dos mapas de benefício tem por base a junção dos processos apresentados nas publicações de Geneletti *et al.* (2020) e de Derkzen *et al.* (2015). A articulação entre as duas publicações resulta da necessidade de adequar os métodos adotados à disponibilidade de dados locais e ajustar a sua proposta de análise ao caso em estudo, preferindo-se sempre os métodos voltados para a escala urbana.

Com o propósito de realizar a avaliação dos benefícios dos quatro SE será necessário considerar dois aspetos fundamentais. Primeiro, as áreas de benefício dos serviços serão identificadas com base no fluxo do SE, considerando a relação espacial específica entre as áreas de produção e as áreas de benefício, direção e escala que caracterizam cada SE. Em segundo lugar, a presença de barreiras físicas ao acesso também deveria ser verificada em cada caso. Contudo, é de referir que dado ao tamanho diminuto da área de estudo, assume-se que todas as áreas de benefício são fisicamente acessíveis. As características espaciais relevantes dos fluxos dos SE e os procedimentos adotados, bem como a fonte utilizada, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Métodos para obtenção das áreas de benefício dos SE de regulação selecionados (valores normalizados para uma escala de 0 a 10).

<b>SE</b>	<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Áreas edificadas e impermeabilizadas</b>	<b>Solo Nu</b>	<b>Vegetação herbácea e arbustiva</b>	<b>Vegetação arbórea</b>
<b>Sequestro de Carbono</b> [adaptado Geneletti <i>et al.</i> (2020)]				<b><i>In situ</i></b> (as áreas de produção são também as áreas de benefício)	
<b>Melhoria da Qualidade do Ar</b> [adaptado Derkzen <i>et al.</i> (2015)]				Proximidade à área de maior concentração de poluentes (PM <sub>10</sub> ) <b>Buffer de 50 m a partir das vias</b>	
				4	10
<b>Regulação Microclimática</b> [adaptado Geneletti <i>et al.</i> (2020)]				Área de influência em torno do espaço verde <b>Buffer de 100 m</b>	
				1,65	5
<b>Mitigação do Ruído</b> [adaptado Derkzen <i>et al.</i> (2015)]				Proximidade à área de origem do ruído <b>Buffer de 50 m a partir das vias</b>	
				1,8	10

Os 'scores de benefício' para a área delimitada em estudo serão obtidos aplicando-se o mesmo procedimento matemático utilizado para a produção, resultando uma pontuação normalizada compreendida entre 0 e 10. A pontuação final de benefício também incorporará a avaliação da produção

dos SE, realizada na etapa anterior, desta forma a pontuação de benefício pode ser interpretada como uma pontuação de produção reduzida que tem em conta questões relacionadas à distribuição espacial das áreas de benefício dos serviços e a sua acessibilidade, quando relevante para o SE sob investigação.

No caso concreto do SE do **sequestro de carbono**, o *score* de produção e de benefício serão iguais, uma vez que as pontuações permanecem as mesmas em ambas as situações. Esta situação imutável deve-se ao facto de o serviço em questão apresentar um fluxo global e sem relação de proximidade (*in situ*), isto é igualmente distribuído por toda a área da amostra. Desta forma, não será necessária nenhuma análise espacial suplementar.

O estudo do SE da **melhoria da qualidade do ar** ou purificação do ar define-se pela a redução das concentrações de poluição do ar. Para proceder à avaliação dos benefícios da melhoria da qualidade do ar, primeiramente, será necessário criar um *buffer* de 50 m em torno da rede viária e ferroviária, visto que nesta análise as vias são consideradas as principais fontes de poluentes. Posteriormente, nas coberturas do solo interseccionadas pelo *buffer* em questão a pontuação será definida como sendo o dobro da pontuação de produção do espaço verde - áreas com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea - que fornece o serviço, como indica a tabela 13.

Tabela 13 - Valores de benefício adimensionais atribuídos ao SE de melhoria da qualidade do ar para as diferentes situações de cobertura do solo.

<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Valor Atribuído ao SE</b>	<b>Melhoria da Qualidade do Ar (Benefício)</b>
Áreas edificadas e impermeabilizadas (1)	0	0
Solo Nu (2)	0	0
Vegetação herbácea e arbustiva (3)	2	2
<b>Buffer 50 m da rede viária e ferroviária</b> <b>- Vegetação herbácea e arbustiva</b>	4	4  × 2
Vegetação arbórea (4)	5	5
<b>Buffer 50 m da rede viária e ferroviária</b> <b>- Vegetação arbórea</b>	10	10  × 2

No caso do SE da melhoria da qualidade do ar, a pontuação de benefício deverá ser superior à pontuação de produção, visto que para o estudo realizado a principal fonte de poluição do ar a ter em conta são as redes viária e ferroviária e quanto mais próximo das fontes de poluição maior será a diferença de redução das concentrações de poluição do ar. As superfícies arbóreas (4) oferecem uma pontuação média, classificadas com um valor adimensional de 5, contudo nas situações em que estas se encontrem a menos de 50 metros das principais fontes de poluição o seu valor multiplicará por 2. O mesmo se verificará nas coberturas com vegetação herbácea e arbustiva (3), nesta classe a produção é classificada com 2 valores, porém se estiverem contidas no *buffer* o seu valor também duplicará.

Para a **regulação microclimática**, a distribuição é considerada omnidirecional e apresenta áreas de benefício até algumas centenas de metros em redor das áreas verdes.

A metodologia aplicada para determinar as áreas de benefício do SE de regulação microclimática baseia-se na criação de um *buffer* de 100 m em redor dos espaços verdes que fornecem o serviço, ou seja, as superfícies classificadas com as categorias: vegetação herbácea e arbustiva (3) e vegetação arbórea (4). As superfícies contidas pelo *buffer* receberão uma pontuação que é a metade da própria área verde (Tabela 14), isto é, as coberturas verdes fornecem meios para alcançar uma regulação microclimática e os efeitos diminuem com o aumento da distância à fonte.

Tabela 14 - Valores de benefício adimensionais atribuídos ao SE de regulação microclimática para as diferentes situações de cobertura do solo.

<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Valor Atribuído ao SE</b>	<b>Regulação Microclimática (Benefício)</b>
Áreas edificadas e impermeabilizadas (1)		0
Solo Nu (2)		3.3
<b>Buffer 100 m - Vegetação herbácea e arbustiva</b>		1.65
Vegetação herbácea e arbustiva (3)		3.3
<b>Buffer 100 m - Vegetação arbórea</b>		5
Vegetação arbórea (4)		10



/ 2

/ 2

Neste caso, o 'score de benefício' deverá ser superior ao 'score de produção', uma vez que nos *buffers* em redor das áreas verdes será atribuído metade do valor da própria área e nos casos de sobreposição com outras superfícies prevalecem os efeitos das coberturas do solo com maior valor atribuído.

No caso do serviço de **mitigação do ruído** as áreas de benefício são passíveis de ser identificadas através da conceção de um *buffer* de 50 metros em torno da rede viária e ferroviária, sendo que estas foram consideradas as principais fontes de ruído da área delimitada para estudo. Nas coberturas do solo abarcadas pela área do *buffer* será atribuída uma pontuação de benefício igual à pontuação de produção da área verde que fornece o serviço. Nas restantes áreas não englobadas pelo *buffer* a pontuação será nula, uma vez que se considera não obter benefícios de redução do ruído a mais de 50 metros das fontes de poluição sonora (Tabela 15).

Tabela 15 - Valores de benefício adimensionais atribuídos ao SE de mitigação do ruído para as diferentes situações de cobertura do solo.

<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Valor Atribuído ao SE</b>	<b>Mitigação do Ruído (Benefício)</b>
Áreas edificadas e impermeabilizadas (1)		0
Solo Nu (2)		0
Vegetação herbácea e arbustiva (3)		0
Vegetação arbórea (4)		0
<b>Buffer 50 m rede viária e ferroviária - Vegetação herbácea e arbustiva</b>		1.8
<b>Buffer 50 m rede viária e ferroviária - Vegetação arbórea</b>		10

Para o estudo a realizar, a utilização do *buffer* permite garantir que apenas a vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea a uma curta distância de uma fonte de ruído contribui para a estimativa. A aplicação da ferramenta *buffer* no ArcGIS viabiliza a concretização do que se verifica no campo experimental, isto é que a maioria dos efeitos de atenuação do ruído são medidos até uma distância máxima de 50 metros das fontes de poluição sonora. Tecnicamente para além dessa barreira dos 50 metros o valor do ruído deve ser nulo ou residual, por já ter sido absorvido na área delimitada, não contribuindo com valor de benefício para o *score* final. As superfícies arbóreas (4) à partida oferecem uma pontuação máxima de mitigação do ruído, classificadas com um valor adimensional de 10, contudo nas situações em que estas se encontrem a mais de 50 metros das principais fontes de ruído o seu valor será nulo, visto que não exibem efeito na contenção da perturbação. O mesmo se verificará nas coberturas com vegetação herbácea e arbustiva (3), nestas situações o benefício será classificado com 1.8 valores, no entanto se

não estiverem contidas no *buffer* das estradas e linha férrea, o seu valor também será nulo. Desta forma, o 'score de benefício' deverá ser inferior ao 'score de produção'.

#### 4.4. ETAPA 4 - MAPA DA 'OFERTA COMBINADA DE SE'

Na sequência da obtenção dos mapas de 'benefício' para cada SE, elaborar-se-á um mapa síntese – denominado de 'Oferta Combinada de Serviços Ecosistémicos' -, que reúne todos os benefícios dos SE presentes na área de estudo. Para a elaboração desta próxima fase recorre-se maioritariamente à metodologia apresentada na publicação de Cortinovis e Geneletti (2020).

O mapa da 'oferta combinada de SE' resultará do somatório dos quatro mapas de benefício dos SE eleitos, cujos valores se encontram compreendidos entre 0 e 10. Para realizar a junção dos quatro mapas de benefício recorre-se a uma ferramenta vocacionada para manipular dados raster - *Raster Calculator* - e, portanto, primeiramente será necessário converter os quatro ficheiros vetoriais para formato raster. Como a metodologia base não especifica sobre a importância relativa dos quatro SE, não se atribui nenhuma ponderação. Depois da soma dos quatro mapas de benefício obter-se-á um mapa com valores compreendidos entre 0 e 40. Valores esses, que posteriormente, serão novamente convertidos para um intervalo de 0 a 10.

De acordo com Cortinovis e Geneletti (2020), o valor médio do indicador do mapa da 'oferta combinada de SE' dentro da área afetada pela transformação urbana define o nível de desempenho necessário. Para a operacionalização da metodologia adotam-se as classes representativas dos níveis de desempenho requerido, propostas pelos autores supracitados (Tabela 16). Note-se que, quanto maior for valor médio do indicador na área, maior será o impacto esperado da intervenção na oferta do SE (Cortinovis & Geneletti, 2020).

Tabela 16 - Níveis de desempenho (*scores*) necessários em função do impacto esperado sobre a atual oferta de SE.

(Fonte: Adaptado de Cortinovis & Geneletti, 2020).

Valor médio do indicador	Impacto esperado na oferta de SE	Desempenho ( <i>score</i> ) necessário
$0 \leq x < 2$	Baixo	2 Pontos
$2 \leq x < 4$	Médio	4 Pontos
$4 \leq x < 6$	Elevado	6 Pontos
$6 \leq x \leq 10$	Muito elevado	8 Pontos

Resumidamente, o valor médio da área de intervenção, no caso a Pedreira da Madalena, determina o nível de performance/desempenho requerido.

#### 4.5. ETAPA 5 – MAPAS DE ‘PROCURA’ DOS SE

A procura de cada SE será definida pelas características da população ou ativos físicos expostos a essa condição, tendo em consideração os diferentes níveis de vulnerabilidade, quando pertinente. A Tabela 17 resume as variáveis a considerar na elaboração dos mapas de procura de cada SE, indicando também a respetiva procedência dos dados.

Tabela 17 - Variáveis empregues na elaboração dos mapas de procura dos SE eleitos.

SE	VARIÁVEIS	FONTES
<b>Sequestro de Carbono</b>	Número total de residentes	BGRI (2011)
<b>Melhoria da Qualidade do Ar</b>	Grupos vulneráveis (crianças e idosos)	BGRI (2011)
	Número total de alojamentos	BGRI (2011)
	Infraestruturas verdes	Urban Atlas (2018)
<b>Regulação Microclimática</b>	Grupos vulneráveis (crianças e idosos)	BGRI (2011)
	Temperatura de superfície	USGS (2018) - <i>Landsat 8 OLI</i>
<b>Mitigação do Ruído</b>	Número total de alojamentos	BGRI (2011)
	Equipamentos suscetíveis à presença de ruído	Urban Atlas (2018)

Para proceder à elaboração dos mapas da procura dos SE, previamente será necessário normalizar todos os dados. É de salientar que as variáveis eleitas para cada SE têm o mesmo peso na determinação do mapa da procura. Estes mapas encontram-se classificados à escala da subsecção estatística, uma vez que se trata da unidade base dos dados disponibilizados pela BGRI (2011). No entanto, será necessário proceder à divisão prévia da subsecção que engloba a Pedreira da Madalena (Figura 12), uma vez que a sua área agrupa tipologias de solo muito distintas, o que poderia introduzir erros e ambiguidades no estudo da procura, caso a mesma fosse considerada uma só subsecção. Atualmente, na área da pedreira não se verifica a existência de alojamentos nem de residentes, no entanto na subsecção em que se insere existem várias áreas residenciais e consequentemente habitantes, esta duplicidade poderia acrescentar equívocos desnecessários. Portanto, a solução passa por dividir a subsecção pelos limites da pedreira, assumindo que os dados fornecidos pela BGRI correspondem à metade da subsecção que

não abrange a pedreira. Reforçando, desde logo que os dados referentes à população e ao número de alojamentos serão nulos para a antiga área de extração.

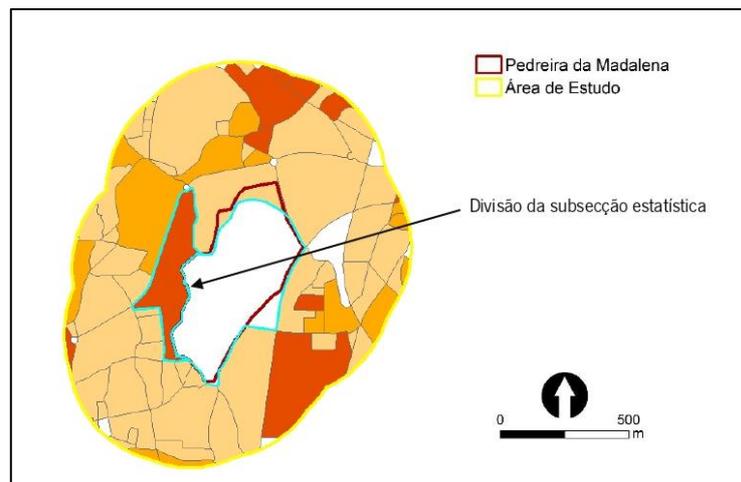


Figura 12 - Divisão esquemática da subsecção que engloba a Pedreira da Madalena.

#### ▪ **Sequestro de Carbono**

No caso do sequestro de carbono a 'população total residente' constitui a única variável responsável pela procura deste SE. A remoção e o armazenamento natural de carbono afeta ou beneficia toda a população de igual modo. Desta forma, as subsecções da área de estudo com o maior número de residentes apresentarão os valores de procura mais elevados de sequestro de carbono.

#### ▪ **Melhoria da Qualidade do Ar**

Para a elaboração do mapa da procura do SE da melhoria da qualidade do ar será necessário conjugar quatro variáveis distintas: a presença de grupos de residentes vulneráveis (crianças e idosos), o número de alojamentos implantados no local e a possível existência de infraestruturas verdes.

No mapa da procura do SE de remoção de  $PM_{10}$  do ar, a inclusão da variável dos 'grupos vulneráveis' deve-se ao facto de a população infantil, bem como a mais envelhecida ser mais sensível à qualidade do ar (Silva & Mendes, 2006). Neste sentido, as crianças e os idosos seriam os mais beneficiados por uma possível intervenção neste SE, visto que, muitas vezes, estas faixas etárias apresentam maior debilidade e necessidade de cuidados de saúde no âmbito respiratório (Silva & Mendes, 2006). Outro fator que influencia a procura deste SE é a presença de 'alojamentos', considerando que a melhoria da qualidade de ar é extremamente benéfica para os residentes (sejam eles pertencentes ou não aos grupos vulneráveis), pois minimiza possíveis doenças respiratórias, bem como os custos médicos associados. Por último, a presença de 'infraestruturas verdes' também requer um aumento da procura da remoção

de poluentes atmosféricos ( $PM_{10}$ ), visto que nesses espaços estão muitas vezes incluídas zonas culturais e de lazer, desta forma e pelas mesmas razões da variável anterior é necessário garantir uma boa purificação do ar. Esta variável apresenta ainda uma particularidade, na medida em que estas tipologias de uso do solo são frequentemente compostas por vegetação arbórea, arbustiva e/ou gramíneas, consequentemente são fortemente responsáveis pelo fornecimento deste SE.

#### ▪ **Regulação Microclimática**

No serviço de regulação microclimática o mapa da procura baseia-se em três variáveis: a presença de residentes vulneráveis, crianças e idosos, e na temperatura de superfície (TS). A incorporação da variável dos ‘grupos vulneráveis’ deve-se ao facto de estas faixas etárias serem mais sensíveis em relação a situações de calor extremo, que se traduzem em complicações de saúde. A ‘TS’ é utilizada como proxy das áreas mais quentes, onde se verifica maior procura da regulação microclimática, e das áreas mais frescas, onde a procura será negligenciável. Note-se que, é adotado o valor médio da TS por subsecção.

#### ▪ **Mitigação do Ruído**

Por último, para a obtenção do mapa da procura do serviço de mitigação do ruído combina-se a variável do ‘número de alojamentos’ com a existência de ‘equipamentos ou instituições suscetíveis à presença de ruído’. Isto é, equipamentos ou instituições que albergam funções e atividades não compatíveis com a presença de ruído, nomeadamente escolas, bibliotecas, igrejas, centros de saúde e hospitais.

A integração do ‘número de alojamentos’ encontra justificação no facto de as áreas residenciais serem maioritariamente locais de descanso. Assumindo esta premissa, os residentes necessitam de meios de proteção/ absorção acústica, de modo a poderem realizar as suas atividades do quotidiano, sem comprometer a sua saúde e bem-estar. Próximo aos ‘equipamentos suscetíveis à presença de ruído’ o aumento da capacidade natural de absorção acústica é fundamental para a salvaguarda da eficácia das funções desempenhadas.

#### 4.6. ETAPA 6 - MAPA DA 'PROCURA INTEGRADA DE SE'

Esta nova etapa, da obtenção do mapa da 'Procura Integrada de Serviços Ecosistémicos', baseia-se igualmente nos procedimentos descritos em Cortinovis e Geneletti (2020). O mapa da 'procura integrada de SE' ao sintetizar a procura para os quatro SE selecionados, fornece indicações sobre as ações baseadas no ecossistema a priorizar em cada local.

Para a elaboração deste mapa recorre-se à ferramenta '*Grouping Analysis*' (disponível no ArcGIS), que permite agrupar áreas com base nos atributos e restrições espaciais ou temporais. Com efeito, permite identificar subsecções com perfis similares de procura integrada de SE. Para a procura de cada SE, compara-se o respetivo valor médio em cada cluster com a média global da área – correspondendo esta diferença ao *Z-score* (Tabela 18). As pontuações atribuídas às intervenções urbanas, que por via da implementação de soluções baseadas no ecossistema, contribuem para a produção dos SE necessários em cada cluster, de acordo com o seu *Z-score* (Tabela 18), obedecem ao proposto por Cortinovis e Geneletti (2020).

Tabela 18 - Pontuações atribuídas (*scores*) às ações baseadas no ecossistema em função dos níveis de prioridade dos SE visados.

(Fonte: Adaptado de Cortinovis & Geneletti, 2020).

<i>Z-score</i>	Pontuação ( <i>score</i> ) atribuída às ações
$Z < 0$	0 Pontos
$0 \leq Z < 0,7$	1 Pontos
$0,7 \leq Z < 1,4$	2 Pontos
$1,4 \leq Z < 2,1$	3 Pontos
$Z \geq 2,1$	4 Pontos

O sistema de pontuação varia entre 0 e 4 pontos, o zero remete para as áreas onde o SE não tem procura, ou esta é muito baixa, pelo que as ações que visam esse SE não são encorajadas. Já a pontuação 4 surge em áreas onde o SE tem uma procura elevada, pelo que as ações que potenciam a sua produção são consideradas prioritárias. Deste modo, o sistema de pontuação constitui um guia para hierarquizar as ações dependendo do nível de procura dos SE.

#### 4.7. ETAPA 7 - SELEÇÃO DE ÁREAS AMOSTRA COMPLEMENTARES PARA VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

Para ilustrar de modo mais claro a abordagem metodológica descrita serão definidas de modo complementar duas áreas amostra, onde poderão vir a decorrer processos de urbanização semelhantes ao equacionado no PDM para a área da Pedreira da Madalena. As duas áreas amostra selecionadas (Figura 13) remetem para tipologias de uso do solo distintas da Pedreira da Madalena. A amostra 1 é maioritariamente uma área de pastagem, segundo a classificação do Urban Atlas, com predominância do tipo de vegetação herbácea e arbustiva. No caso da amostra 2, classificada como área de floresta, ocorre o predomínio da vegetação arbórea.

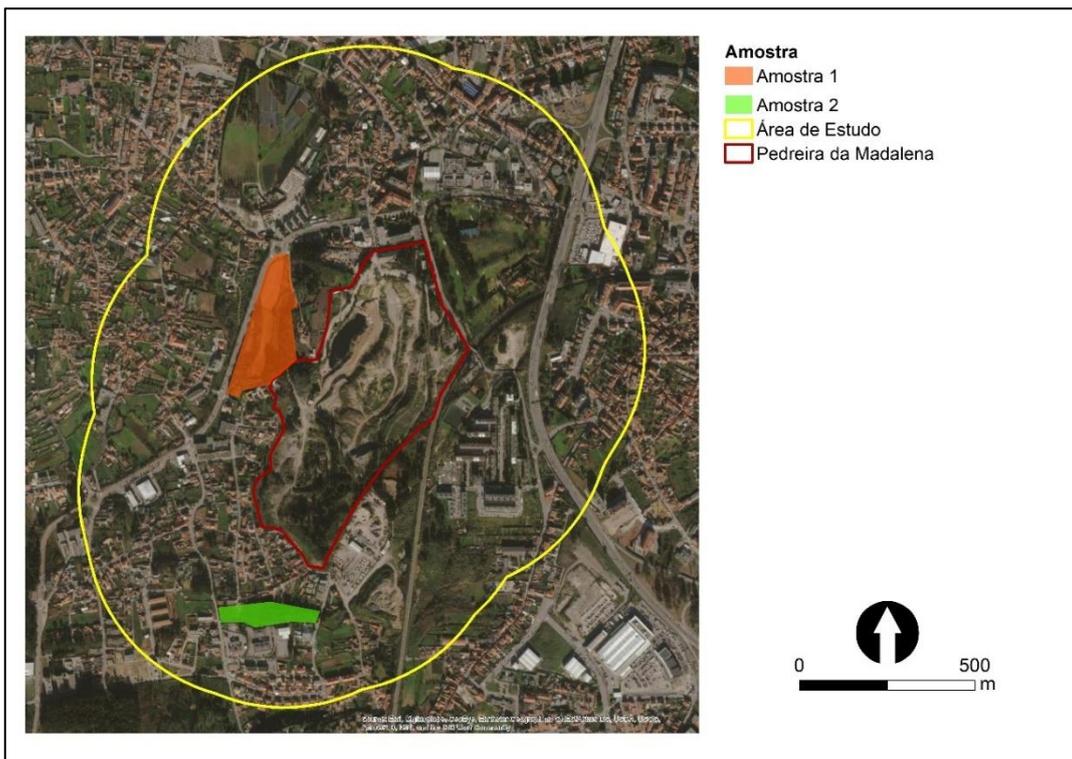


Figura 13 - Delimitação das áreas amostra complementares para validação da metodologia.  
(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

#### **4.8. SÍNTESE DA METODOLOGIA**

O último ponto deste capítulo expõe um quadro sumário da metodologia a aplicar na presente dissertação. A Figura 14 sintetiza as sete etapas anteriormente mencionadas e indica a publicação utilizada como referência em cada etapa. O esquema da figura seguinte permite compreender mais facilmente os processos que compõem a presente metodologia, assim como a articulação entre as diferentes etapas, oferecendo uma visão integral do sistema metodológico desenvolvido nesta investigação.

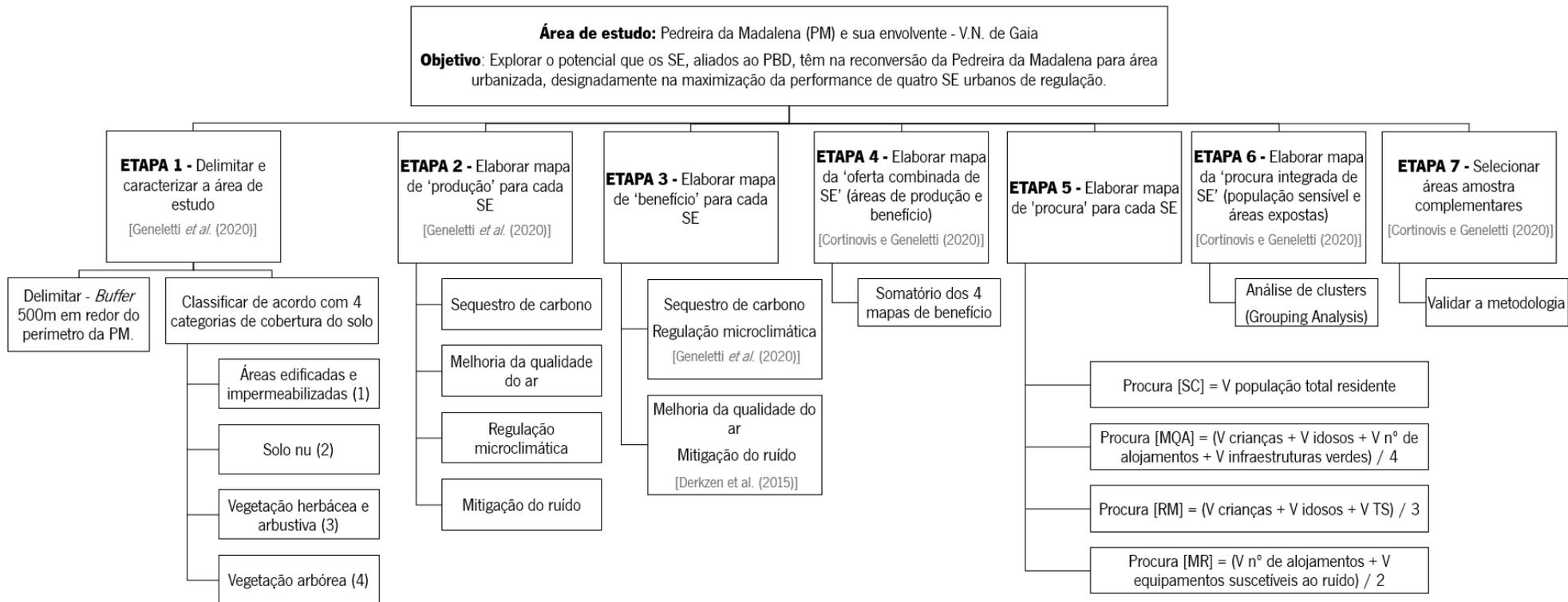


Figura 14 - Quadro síntese da metodologia desenvolvida na presente dissertação.

## PARTE II – ANÁLISE DOS SE NA PEDREIRA DA MADALENA E SUA ENVOLVENTE

### 1. CASO DE ESTUDO: PEDREIRA DA MADALENA EM VILA NOVA DE GAIA

O primeiro capítulo da parte II tenciona abranger e retratar o caso de estudo, que serve de suporte ao presente trabalho. Como anteriormente referido na parte introdutória, a área de estudo corresponde ao espaço ocupado pela Pedreira da Madalena, bem como a sua envolvente.

Neste capítulo de abertura de uma nova secção - na qual se realizará uma análise dos SE presentes na área delimitada para estudo - faz-se um enquadramento histórico, geomorfológico, geológico, ambiental, legal e municipal do caso de estudo, apresenta-se uma compilação das várias propostas de recuperação paisagística e ambiental para a antiga área de extração de granito, bem como a solução do PARP em vigor, que atualmente se baseia na deposição de resíduos inertes em aterro.

#### 1.1. A PEDREIRA DA MADALENA AO LONGO DOS ANOS

A ‘Pedreira da Quinta do Moinho nº 2’, ou ‘Pedreira da Madalena’, encontra-se situada na freguesia de Canidelo no concelho de Vila Nova de Gaia. A designação de ‘Pedreira da Madalena’ pode ser derivada pelo facto da fronteira entre as freguesias de Canidelo e da Madalena se localizar próximo do limite sul da propriedade onde se situa a pedreira (Guedes, 2020), como exhibe a Figura 15.

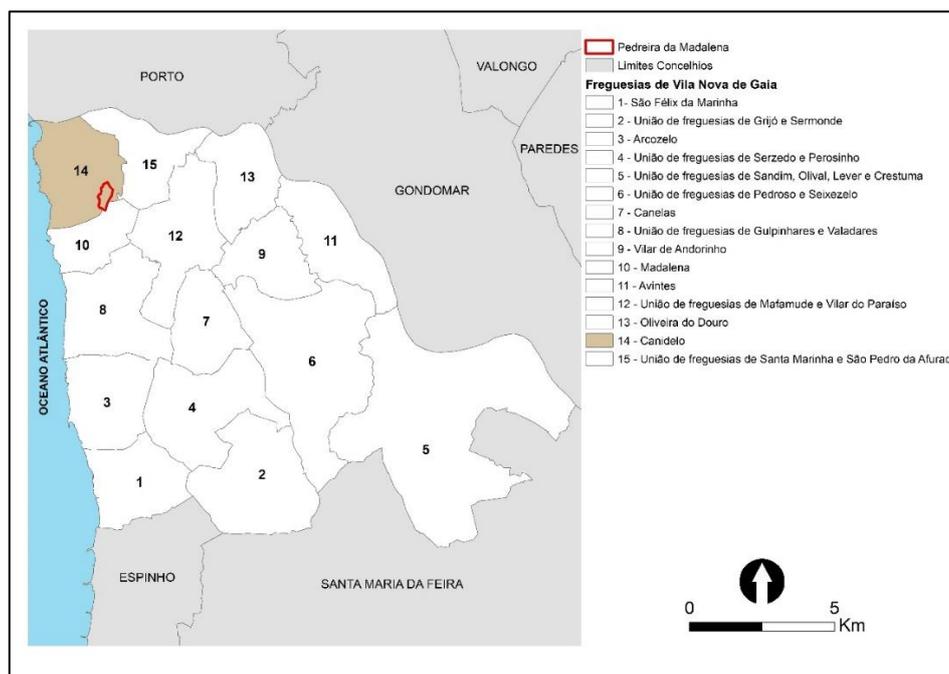


Figura 15 - Freguesias do concelho de V. N. de Gaia.

(Fonte: Elaboração própria com base na CAOP de 2016).

Contudo, a denominação também pode estar associada ao facto de o único acesso à pedreira, no começo, se efetuar por um caminho de serventia que tinha origem na freguesia da Madalena. Outro fator que poderá ter contribuído para a difusão desta designação está relacionado com o facto de terem existido no passado várias pedreiras no território da freguesia da Madalena, sendo que o granito extraído das mesmas era conhecido como ‘Granito da Madalena’ (Guedes, 2020). Em relação à designação oficial desta Pedreira como ‘Quinta do Moinho nº 2’, poderá depreender-se com o facto da presença no terreno da pedreira de um moinho de vento, construído em data incerta e que foi alvo de uma recuperação entre 1999 e 2000 (Guedes, 2020).

Como indicado na Figura 16, a pedreira em estudo consistiu numa exploração a céu aberto cuja atividade teve início em 1971, produzindo granito para diversas aplicações: blocos para obras portuárias e de defesa costeira, balastro para linhas férreas, assim como materiais com variadas granulometrias para a concretização de diferentes trabalhos de construção civil e obras públicas (Pereira *et al.*, 2000).

A pedreira da Madalena apresenta uma localização privilegiada, a cerca de 500 metros do nó das Devesas, e beneficia de fáceis acessos permitindo o transporte rápido e económico de agregados e resíduos para e da região do Grande Porto. A pedreira em análise aprovionou material para diversas obras de elevada importância no panorama regional como a renovação da Linha do Norte, a ligação ferroviária Porto-Aveiro, o rebaixamento da Linha do Norte na cidade de Espinho, a renovação da Estação de Campanhã, a Ponte Ferroviária de São João, o Centro Comercial Arrábida Shopping e a Autoestrada A29 (Martins, 2018).

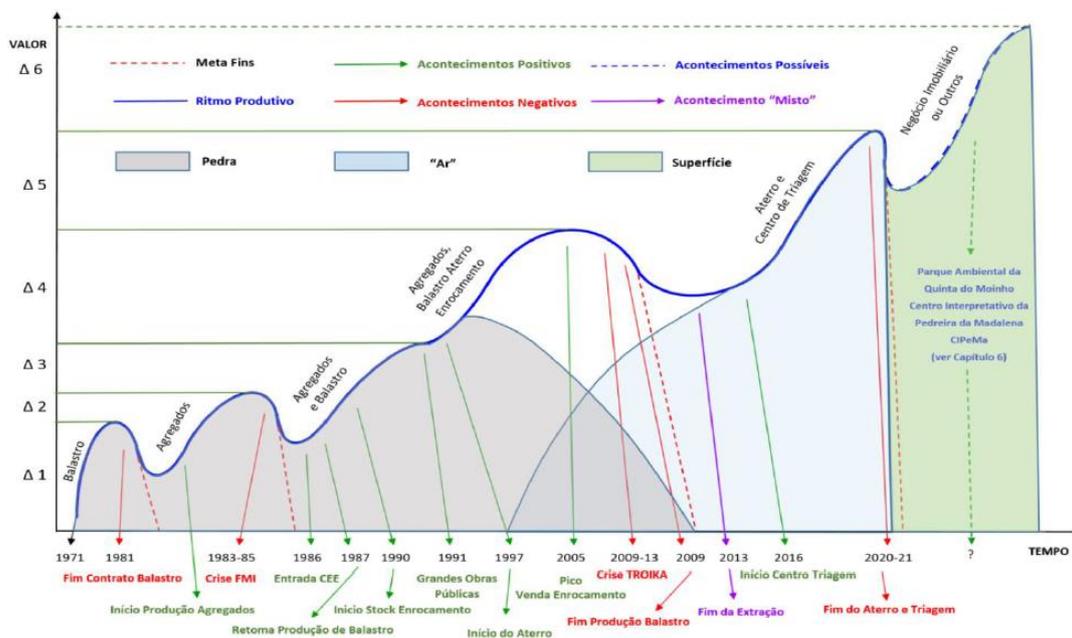


Figura 16 - Gráfico do ‘Valor’ da Pedreira da Madalena no tempo, respetivo enquadramento histórico.

(Fonte: Guedes *et al.*, 2020).

Em 1996/1997, verificou-se que a cota se aproximava da cota mínima autorizada por lei, desta forma a empresa SOLUSEL (Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda.), detentora do alvará de licença de exploração, obteve das tutelas autorização para que a pedreira funcionasse, em simultâneo com a sua atividade e como recetora de resíduos inertes, resultantes quer da demolição de edificações industriais e blocos habitacionais, quer de escavações efetuadas com finalidades diversas (Pereira *et al.*, 2000). Tendo como objetivo prever e controlar eventuais efeitos negativos, associados ao facto de a pedreira funcionar como local de aterro, a empresa responsável procurou analisar aspetos geológicos, estruturais e hidrogeológicos no maciço de exploração. A empresa exerce um controlo rigoroso sobre a qualidade e quantidade da carga a depositar, nomeadamente a deposição abusiva de materiais orgânicos ou outros que possam, por lixiviação, constituir-se em emissores de metais pesados ou de contaminantes químicos perigosos de qualquer outra índole (Pereira *et al.*, 2000).

Em 2013 parou-se com a extração de rocha granítica (Rebello *et al.*, 2015). Atualmente, só se encontram a ocorrer nesta pedreira atividades de deposição de resíduos inertes em ambiente de aterro devidamente licenciado (Guedes, 2020). O licenciamento para esta atividade de deposição de resíduos constitui o atual PARP que a empresa tem em execução.

No gráfico da Figura 16, as designações das áreas sombreadas indicam as fontes de negócio em curso no respetivo período de tempo. A denominação ‘Pedra’ diz respeito à matéria prima, o granito, que possibilitou os negócios da venda de balastro, agregados e materiais para enrocamento, o ‘Ar’ à permutação de espaço para armazenamento de resíduos inertes em aterro e a ‘Superfície’ refere-se ao eventual negócio imobiliário que possa no futuro porvir nos terrenos da pedreira. No eixo das ordenadas do gráfico, analisaram-se diferentes dimensões para os incrementos de ‘Valor’  $\Delta 1$  a  $\Delta 6$ , que fossem suscetíveis de se correlacionarem com o volume de negócio relativo associado ao tipo de atividade em causa ao longo dos anos (Guedes *et al.*, 2020).

## **1.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO E GEOLÓGICO**

O enquadramento geomorfológico do concelho de Vila Nova de Gaia é caracterizado por uma zona aplanada, cujos relevos principais ocorrem segundo um alinhamento NW-SE, desde a área da Arrábida (Porto) e da Afurada (Vila Nova de Gaia) até à área de Santo Ovídio. Desta forma, o local em estudo implanta-se numa plataforma relativamente larga (plataforma litoral ou relevo marginal) que se estende para norte e desce, suavemente, para o oceano a ocidente e a sul (Araújo *et al.*, 2003; Monteiro, 2008), como demonstra a Figura 17.

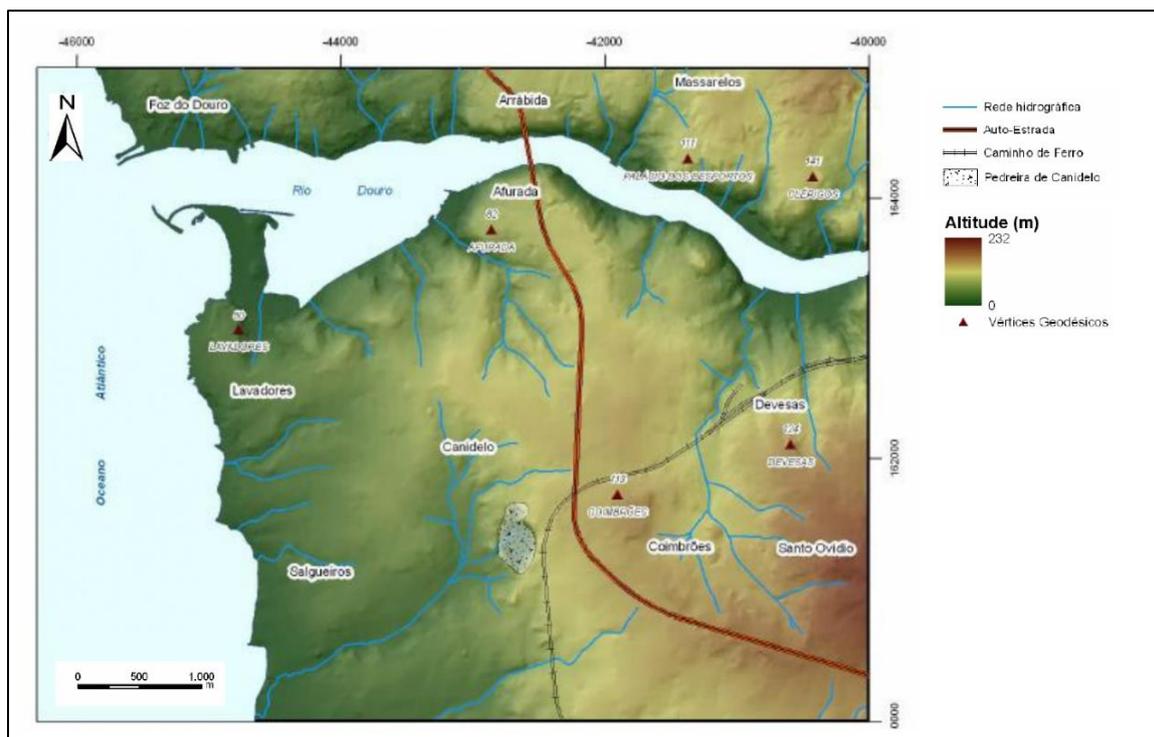


Figura 17 - Modelo digital de terreno da área a sul da Foz do Douro.

(Fonte: Adaptado de Monteiro, 2008).

O município de Vila Nova de Gaia localiza-se num domínio geotectónico complexo do Maciço Ibérico, isto é, ao longo da faixa de cisalhamento de Porto - Albergaria-a-Velha - Coimbra - Tomar, com direção geral NNW-SSE (Chaminé, 2000; Monteiro, 2008). Esta faixa engloba unidades tectonoestratigráficas, de idade proterozoica média-superior a paleozoica média-superior, fazendo parte da Zona Ossa Morena (ZOM) do terreno autóctone Ibérico inserido na Cadeia Varisca Ibérica, contactando a oriente com a Zona Centro Ibérica (ZCI) (Figura 18) (Chaminé *et al.*, 2003; Araújo, *et al.*, 2003).

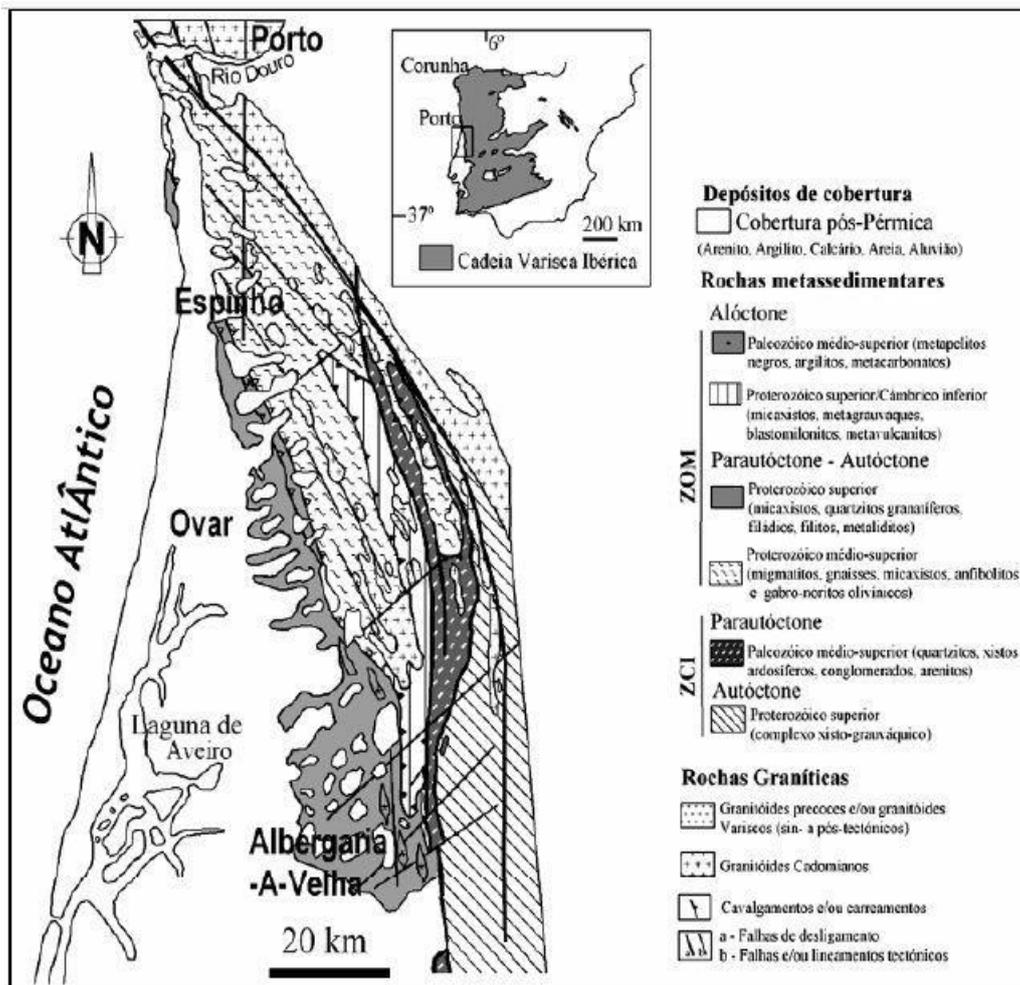


Figura 18 - Esboço geológico regional da faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar, adaptado no setor entre a cidade de Vila Nova de Gaia e Aveiro.

(Fonte: Adaptado de Chaminé, 2000).

A pedra da Madalena faz parte de um maciço granítico, designado por 'Maciço de Lavadores'. O maciço de Lavadores aflora no litoral NW de Portugal, na praia de Lavadores (Foz do Douro), concelho de Vila Nova de Gaia, forma um batólito granítico de secção elíptica e alonga-se na direção NW - SE, até às Termas de S. Jorge, no concelho de Santa Maria da Feira, com cerca de 20 km de extensão por 4 km de largura máxima (Pereira *et al.*, 2000).

Na notícia explicativa que acompanha a Folha 9-C da Carta Geológica de Portugal, representada parcialmente na Figura 19, este maciço é descrito como sendo um 'granito oligoclásico biotítico' (Costa & Teixeira, 1957), usualmente conhecido como 'Granito de Lavadores'.

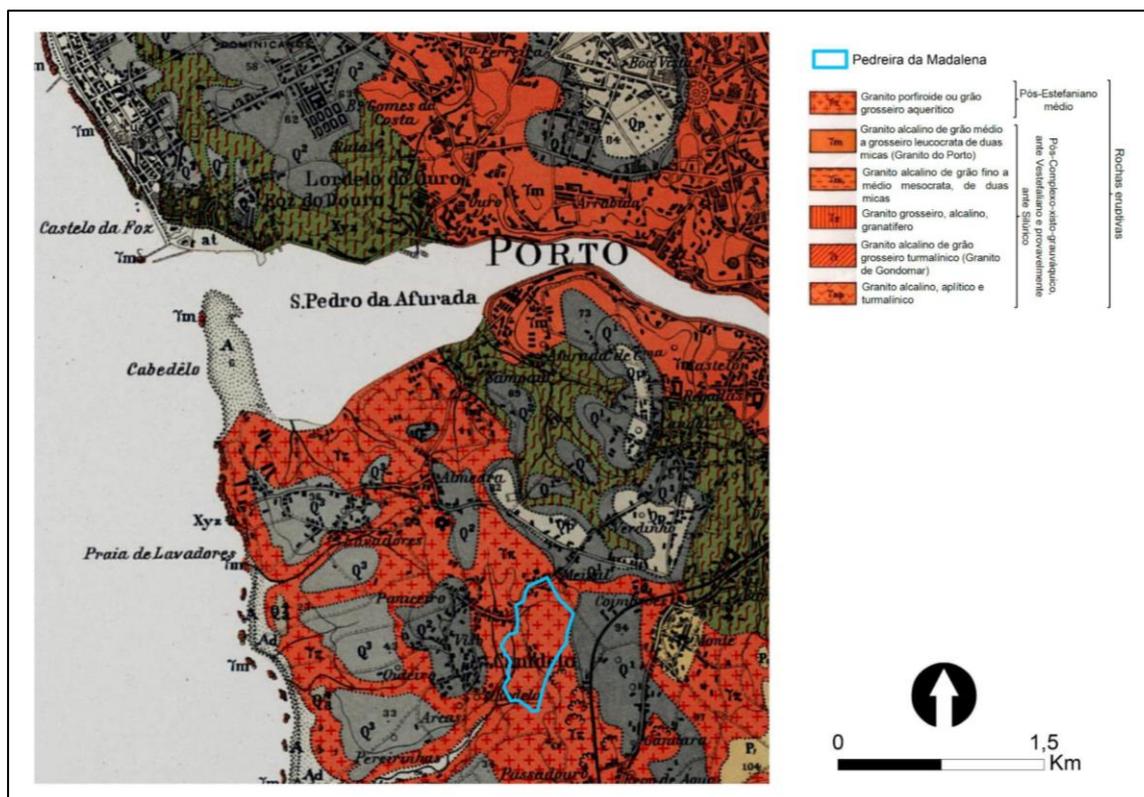


Figura 19 - Localização da área em estudo, no contexto da Folha 9-C da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000.

No início do século XXI, Eurico Pereira, Henrique Miranda e Alexandre Leite, recolheram amostras representativas da área da pedreira da Madalena, com o propósito de efetuar uma análise petrográfica e química da rocha aflorante do local de estudo. Os resultados do estudo petroográfico revelaram, através de uma observação macroscópica, que a rocha da Pedreira da Madalena revela ser uma rocha granitóide, isotrópica, mesocrática, de granularidade média, com quartzo abundante, plagioclase bem desenvolvida e esparsos megacristais de feldspato potássico rosado, que não ultrapassam os 3 cm segundo a maior dimensão (Pereira *et al.*, 2000).

Através da observação microscópica e identificação da composição mineralógica da rocha, Pereira *et al.* (2000), reconheceram a mesma como sendo um granodiorito biotítico, identificando como seus componentes essenciais o quartzo xenomórfico, plagioclase zonada com núcleos de andesina e bordos de oligoclase, feldspato potássico de dois tipos distintos e biotite verde e castanha. Como componentes subordinados foram distinguidos a magnetite, óxidos de ferro hidratados, apatite, zircão, alanite e rútilo, sendo a clorite um componente secundário (Pereira *et al.*, 2000).

### 1.3. ENQUADRAMENTO AMBIENTAL E OCUPAÇÃO DA ENVOLVENTE

Realizando uma análise do panorama geral e atual do concelho de Vila Nova de Gaia, município em que se encontra inserida a pedreira em estudo, torna-se possível averiguar que a cobertura do solo é predominantemente composta por tecido urbano contínuo e descontínuo. A Figura 20 representa a ocupação do solo, verificada no ano de 2018, para o concelho em estudo, onde se comprova a predominância de territórios artificializados.

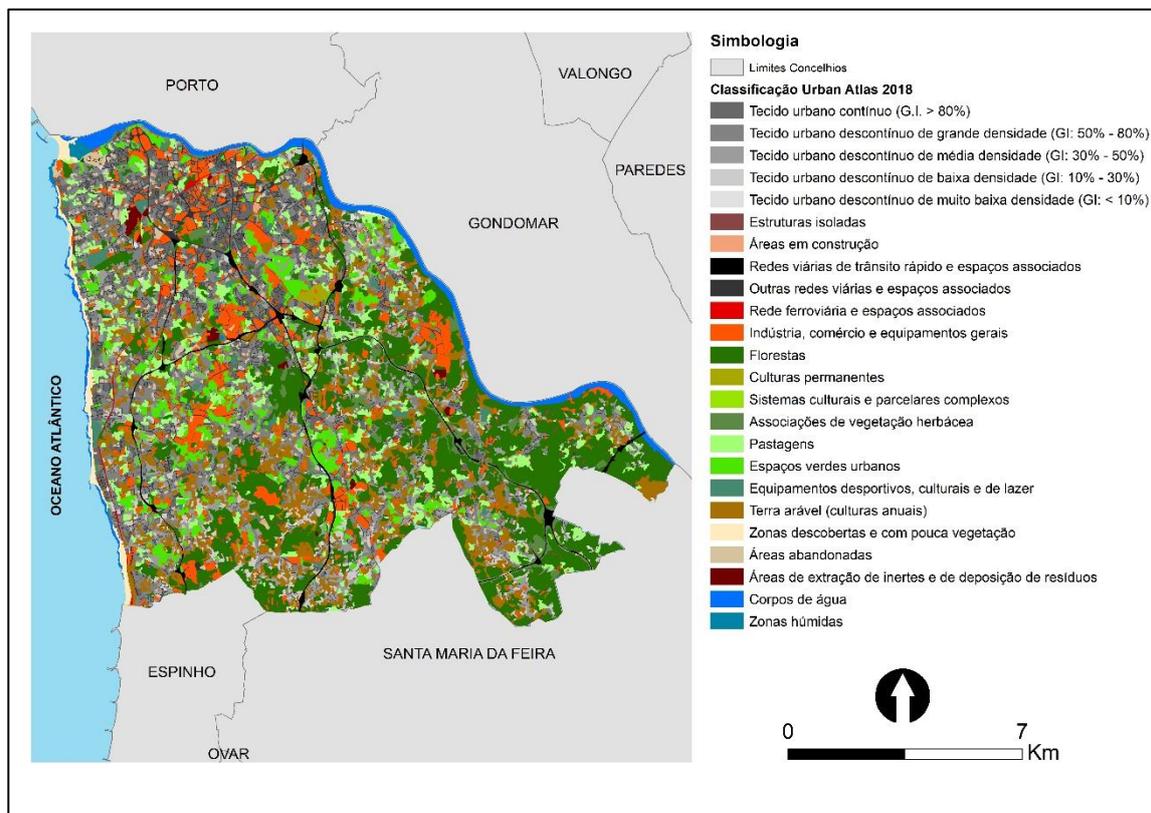


Figura 20 - Carta de Uso do Solo do concelho de V.N. Gaia, em 2018.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

O concelho é maioritariamente composto por territórios artificializados que resultam de um processo de urbanização algo desordenado, em massa e em parte pouco planeado pelas entidades responsáveis do município. Desta forma, a gestão das áreas do concelho ficaram à mercê do mercado imobiliário. O município em questão é vizinho do concelho do Porto, caracterizado por ser um foco de forte atividade laboral. Neste contexto, o concelho de Vila Nova de Gaia transformou-se numa enorme área residencial de pessoas que trabalham e estudam no Porto, tornando-se assim numa espécie de subúrbio, que cresceu de forma desorganizada. A separação física evidente, devido à existência do rio Douro entre os concelhos do Porto e Vila Nova de Gaia, fez com que o sector da habitação se apresentasse no mercado

com custos menores, sendo assim um atrativo. O município em análise apresenta ainda uma outra particularidade, visto que possui uma extensa linha de costa, fazendo fronteira com o Oceano Atlântico e as margens do Rio Douro, ostenta locais propícios para a implantação de segundas habitações, que por sua vez também prosperaram de forma desregrada.

Uma vez comprometida a oferta de SE é necessário o dobro dos esforços para regular os mesmos. O incremento de novas tipologias no município, que se enquadrem nas áreas de produção dos SE em estudo, é uma medida que pretende combater o processo de urbanização desproporcional e assegurar a produção de benefícios para a população.

Desta forma, a transformação urbana da antiga área de extração permite acompanhar a expansão urbana, protegendo simultaneamente os SE no local de implantação da pedreira e na sua periferia, ao promover a reconversão para áreas de tecido urbano com menor densidade de territórios artificializados. A introdução desmedida de territórios artificializados provocou uma degradação na capacidade de prestação dos SE, desviando os valores negativamente dos standards desejados. Embora já tenham sido introduzidas novas tipologias favoráveis a alguns SE, as áreas destas são tão reduzidas que não permitem um equilíbrio entre perdas e ganhos, confirmando-se um balanço espaciotemporal negativo no período compreendido entre o início da exploração mineira e a atualidade.

Em 1971, a Pedreira da Madalena estava encaixada num território tipicamente rural, a Figura 21, que foi alvo de algum trabalho de composição, pretende demonstrar o contexto local de inserção da Pedreira da Madalena em 1971. É de salientar que o espaço da corta corresponde à situação da exploração em 1997, data da fotografia, sendo que na área circundante sobressai um território onde predominavam fundamentalmente explorações agrícolas e espaços florestais (Guedes, 2020).



Figura 21 - Fotografia da Pedreira da Madalena em 1997 [modificada - Arquivo SOLUSEL].

(Fonte: Guedes, 2020).

A partir de meados dos anos 70, proliferaram pelo país imensas edificações clandestinas, como tal o concelho de Vila Nova de Gaia não foi exceção. Tendo em conta o quadro geopolítico da época, a Pedreira da Madalena foi sendo gradualmente rodeada por inúmeras construções, muitas delas não acautelando as distâncias recomendadas (Guedes, 2020).

A fotografia anteriormente exibida na Figura 21, é agora apresentada sem qualquer tipo de modificação (Figura 22) mostrando, à data da fotografia em 1997, que a Pedreira já se via cingida por várias construções de casas, vivendas e prédios urbanos de vários andares. Desta forma, a pedreira passou a ser uma unidade industrial em pleno contexto urbano (Guedes, 2020).



Figura 22 - Fotografia da Pedreira da Madalena em 1997 [Arquivo da SOLUSEL].

(Fonte: Guedes, 2020).

#### **1.4. PLANO AMBIENTAL E DE RECUPERAÇÃO PAISAGÍSTICA DA PEDREIRA DA MADALENA**

Desde o ano de 1997 que a Pedreira da Madalena tem funcionado, simultaneamente com a sua atividade de exploração, como recetora de resíduos inertes para posterior deposição em aterro na área de escavação, devido ao facto dessa área ter atingido a cota mínima de exploração autorizada por lei. Após o encerramento da atividade de exploração, a pedreira continuou a receber resíduos para depositar como uma medida de recuperação paisagística e ambiental.

Entre os modelos e intervenções de recuperação paisagística existentes, a recuperação da Pedreira da Madalena deverá compreender uma reconversão por meio de um processo de enchimento completo (Figura 23 – 'A'), em que o material a ser depositado são resíduos inertes.

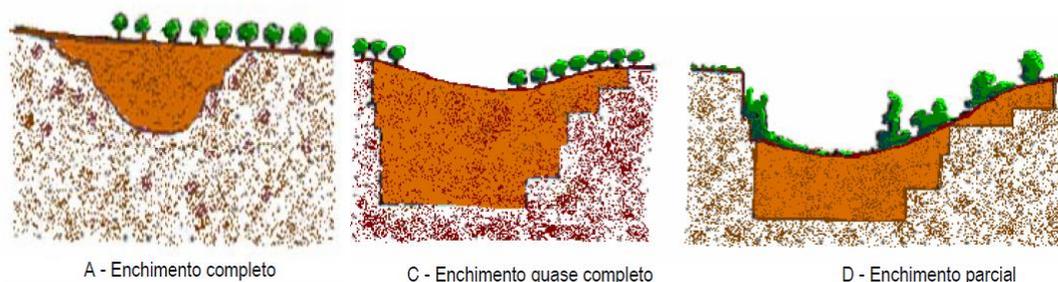


Figura 23 - Esquema dos tipos de intervenção na recuperação de minas e pedreiras a céu aberto (opções de enchimento).

(Fonte: Bastos & Silva, 2006).

A reconversão dos espaços resultantes de atividades mineiras possui uma diversidade apenas limitada pela capacidade de imaginação, pela tecnologia ou pela disponibilidade económica. O conhecimento aprofundado das características do terreno, do enquadramento ambiental, da ocupação humana, das expectativas de gestão do território, da aptidão dos solos entre outros fatores, pode determinar a produção de soluções inovadoras com claras mais-valias económicas e ambientais ou até socioculturais (Bastos & Silva, 2006). Desta forma, a reconversão planeada visa um aproveitamento do espaço afetado para outros usos, distintos dos originais, isto é, substitui o ecossistema autóctone, não obrigando, forçosamente, à revegetação das áreas.

O enchimento completo é um modelo tipicamente compatível com a restauração, uma vez que devolve o estado original do espaço preexistente. No caso concreto da pedreira em estudo, que se encontra situada no núcleo do concelho de Vila Nova de Gaia, rodeada por territórios artificializados, não se verifica a urgência de colocar em prática uma restauração do local. Como consequência do longo período de exploração, também se pôde constatar uma mudança permanente dos usos do solo na área envolvente da exploração mineira, tornando-se pouco relevante a restauração do espaço.

Por sua vez, o modelo de reabilitação, que pressupõe uma recuperação das funções e processos naturais dentro do contexto da perturbação, ou seja, assume a afetação produzindo um ecossistema alternativo compatível com a área envolvente, cuja recriação se pode aproximar em maior ou menor escala do estado ideal (Bastos & Silva, 2006), também não será a solução mais apelativa e exequível, uma vez que o PDM atribui à área da pedreira uma classificação que poderá implicar espaços edificados, o que não se verificava no local antes do início da exploração.

Desta forma, o modelo de reconversão apresenta-se como sendo o mais adequado e benéfico para o caso em estudo, uma vez que permite conjugar as exigências contidas no PDM do concelho com as questões paisagísticas, ambientais, económicas, sociais e culturais associadas.

Ao longo do processo de exploração da Pedreira da Madalena, esta foi alvo de vários projetos de recuperação. O primeiro plano de recuperação paisagística foi construído entre 1990 e 1993 no seguimento do Decreto-Lei 89/90, de 16 de março de 1990, que veio substituir o Decreto-Lei 227/82, que tinha surgido para reformular e unificar a legislação sobre a exploração de pedreiras até aí existente, desta forma estabelece-se pela primeira vez obrigações referentes às questões de preservação da qualidade do ambiente e da recuperação paisagística dos espaços resultantes da atividade extrativa (Guedes, 2020). Atualmente, ambos os decretos estão revogados. No Capítulo VI do novo decreto-Lei, denominado 'Da preservação da qualidade do ambiente e da recuperação paisagística', no Artigo 44º, consolidam-se regras para a minimização dos impactes ambientais da atividade extrativa e definiram-se princípios para a implementação da recuperação paisagística das áreas intervencionadas com a exploração. As pedreiras novas a serem licenciadas passavam a ser obrigadas a apresentar planos que permitissem a minimização dos impactes ambientais e projetos de recuperação paisagística. As pedreiras antigas, já em laboração, como é referido no nº 6 do Artigo 44º, dispunham de um ano para entregarem às entidades tutelares da atividade esses planos e projetos. Segundo essa mesma lei, a solução teria que ser entregue até ao fim de março de 1991 (Guedes, 2020).

Desta forma, a apresentação do primeiro PARP surge em 1991, a primeira hipótese de solução para recuperação do espaço escavado da Pedreira da Madalena, conjeturava a apropriação da praça inferior da pedreira, após o término da exploração, com um complexo de lazer que abrangeria uma zona rústica, campos de ténis, piscinas e outras estruturas. Nos taludes, exercer-se-iam intervenções de contenção e estabilização. A paisagem geral desses taludes, seria algo idêntico a um anfiteatro natural. As pistas de circulação já existentes seriam adaptadas, no interior da pedreira criar-se-iam vias de acesso adequadas à plataforma de lazer, respeitando inclinações e dimensões suscetíveis de permitir a circulação em condições de segurança de qualquer viatura. Os terrenos circundantes à zona de escavação, possuiriam complexos habitacionais de diferentes tipologias, respeitando todas as diretivas provenientes do PDM de Vila Nova de Gaia (Guedes, 2020).

Na Figura 24, segundo o projeto executado pela PROJETUD, é apresentada a planta geral de todo o complexo a construir, abarcando as estruturas interiores e exteriores da Pedreira da Madalena, tendo como objetivo a recuperação e reconversão da totalidade do espaço (Guedes, 2020).

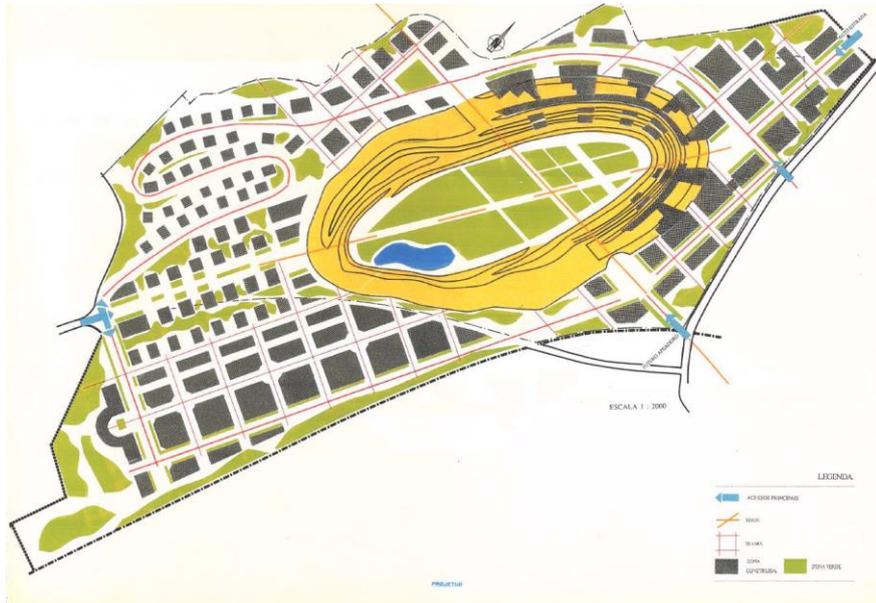


Figura 24 - Planta do projeto de reconversão dos espaços da Pedreira da Madalena, segundo o projeto da PROJETUD [Arquivo da SOLUSEL].

(Fonte: Guedes, 2020).

A Figura 25 pretende realçar os perfis do projeto em várias direções, exibindo dois cortes (linhas a vermelho na Figura 24) esclarecedores da morfologia final de base da corta da Pedreira da Madalena e projeções das estruturas planeadas.

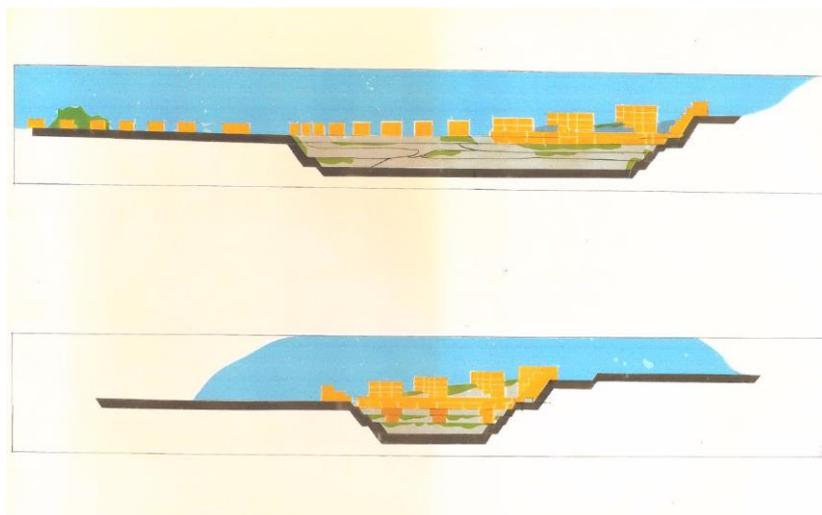


Figura 25 - Perfis do projeto da PROJETUD [Arquivo da SOLUSEL].

(Fonte: Guedes, 2020).

Em meados dos anos 90, num contacto sucedido na Pedreira da Madalena com o então Presidente da Junta de Freguesia de Canidelo, foi exposta a preocupação daquele autarca, relativamente à eventualidade da corta da Pedreira um dia poder ficar inundada de água, tornando-se assim um potencial

foco para a ocorrência de afogamentos. Esta inquietação surgiu na sequência de notícias vindas a público do afogamento de crianças em pedreiras abandonadas. Perante esta situação, ergueu-se de imediato a necessidade de propor novas modificações ao PARP aprovado, nomeadamente contemplando o enchimento de toda a cavidade resultante da escavação com resíduos inertes provenientes de construções e de demolições (Guedes, 2020).

Consequentemente, foram analisadas as vantagens e desvantagens deste novo plano para a recuperação da corta da Pedreira da Madalena. Pelo lado vantajoso, desde logo se destacou a eliminação do potencial risco de afogamentos, preocupação que gerou a proposta de alteração ao PARP. O preenchimento total da cavidade escavada consentiria com a construção da zona de lazer prevista no PARP apresentado em 1991, agora a uma cota superior e com uma área disponível de maior dimensão. Esta alteração também possibilitou a eliminação de todas as necessidades de trabalhos de sustimento nos taludes rochosos deixados pela extração de granito (Guedes, 2020).

Por outro lado, a única desvantagem apontada estava relacionada com o facto de tal solução suprimir o potencial estético das falésias consequentes da escavação, tema muito apreciado dos arquitetos paisagistas da PROJETUD. A desvantagem mencionada é, contudo, equilibrada com o facto da futura zona de lazer passar a usufruir de uma paisagem aberta em direção ao mar, o que em termos paisagísticos é bastante valorizado (Guedes, 2020).

A hipótese de realizar o preenchimento da corta da pedreira com Resíduos Sólidos Urbanos, foi de imediato descartada face às incontornáveis questões técnico-económicas que um aterro para este tipo de materiais comporta. Por exemplo, a impermeabilização da base e taludes da corta implicaria custos de elevada dimensão, e ainda apresentava uma falta de garantia total do não escape de lixiviados para o seu exterior, caso ocorresse alguma anomalia. Surgiram também várias questões de carácter ambiental, sobretudo a propagação e dispersão de odores desagradáveis, que dificultariam a exploração do aterro num contexto urbano e a suposta comercialização das edificações previstas no PARP (Guedes, 2020).

O novo PARP era então suscetível de ser implementado, preservando simultaneamente a atividade extração de granito. A solução em causa não só permitia o cumprimento da lei em vigor, como recompensaria no final um território passível de ser usufruído, por exemplo, para fins lúdicos em ambiente de parque natural, numa área central do concelho.

O total de anos previstos para a atividade do aterro foi de 24 anos, calculados a partir de 1997. O número de anos calculado não se afastou muito da realidade, uma vez que em 2020 a cavidade ocasionada pela exploração de granito, já não se encontrava longe de ser totalmente preenchida com resíduos (Guedes, 2020).

A cobertura final do aterro estava prevista ser constituída por três camadas. Uma camada impermeabilizante, depositada diretamente sobre os resíduos. Seguida de uma camada drenante, de modo a proporcionar um rápido escoamento das águas infiltradas. A camada superior seria composta por terra vegetal, isto é, sobre a estrutura seria depositada uma camada de cerca de 1 m de terra vegetal, a fim de realizar uma florestação de toda a plataforma final do aterro. A rematar o plano, o projeto contemplava a plantação de arbustos misturados com uma sementeira de gramíneas e leguminosas com a intenção também de abonar a estabilidade de toda a cobertura (Guedes, 2020).

Em setembro de 1996, a SOLUSEL rececionou uma carta da entidade competente para avaliação e licenciamento de projetos de aterro, na qual declarava que o projeto apresentado para a recuperação paisagística da Pedreira da Madalena e respetivo aterro de resíduos inertes tinha sido aprovado (Guedes, 2020).

### **1.5. RESÍDUOS DEPOSITADOS NO ATERRO**

Atualmente a Pedreira da Madalena recebe resíduos inertes para deposição em aterro, afim da concretização da sua recuperação paisagística. Esses resíduos são nomeadamente RCD (resíduos de construção e demolição) os que se encontram na tabela n.º 1, parte B do Anexo IV do Decreto-lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto e os que cumprem com os limites impostos nas tabelas n.º 2 e 3 do mesmo diploma legal (Costa, 2018).

A qualificação dos resíduos utilizados para o aterro na pedreira permite conhecer e classificar os possíveis danos e efeitos que estes podem constituir para a população. Os resíduos inertes dizem respeito a resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes e, em consequência, não podem ser solúveis ou inflamáveis, nem possuir qualquer outro tipo de reação física ou química, não podendo ser biodegradáveis, nem afetar outras substâncias com as quais entrem em contacto de forma suscetível de aumentar a poluição do ambiente ou prejudicar a saúde humana. (Costa, 2018). Deste modo, os resíduos inertes são considerados resíduos não perigosos, originando um solo compatível com posteriores usos que promovam o bem-estar da comunidade.

Os resíduos depositados na Pedreira da Madalena são classificados como resíduos inertes, resultantes de diversas atividades, como por exemplo (Costa, 2018):

- da atividade de exploração da própria pedreira;
- da atividade de diversas indústrias, fábricas e afins;
- da demolição e construção de edifícios.

Os RCD são os resíduos provenientes de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação, demolição e da derrocada de edificações, sem necessidade de triagem (Costa, 2018).

O plano de implementação de um aterro de resíduos inertes na área consequente da escavação da Pedreira da Madalena, além de permitir dar resposta aos quesitos legais de implementação de um PARP, também auxiliou na resolução de um problema premente na região do Grande Porto, que se detinha com a proliferação, em grande escala, de lixeiras clandestinas dos mais diversos materiais (Guedes, 2020). A proliferação em causa poderia ser explicada pela carência de fiscalização, decorrente do facto de a Diretiva da Comunidade Europeia, referente à deposição de resíduos em aterro ter somente entrado em vigor em 1999, sendo que a sua transposição para a Legislação dos Estados-Membros, só dois anos mais tarde é que se viria a verificar. As soluções legalizadas para fazer face a este tipo de problemas eram escassas e as que existiam acarretavam custos elevados por cada tonelada depositada, uma vez que se tratavam de aterros licenciados para outros tipos de resíduos (Guedes, 2020). Desta forma, o aterro da Pedreira da Madalena, foi um conceito inovador em Portugal.

#### **1.6. ENQUADRAMENTO LEGAL E MUNICIPAL**

No PDM de Vila Nova de Gaia, a área pertencente à Pedreira da Madalena encontra-se classificada como 'Unidade Operativa de Planeamento e Gestão' (UOPG MD1), tendo como objetivos:

- a) Articular o projeto de recuperação paisagística/urbanística inerente ao encerramento da pedreira com a ocupação prevista para os terrenos municipais;
- b) Promover um programa de manifesto interesse e uso público para a reconversão da pedreira;
- c) Estruturar a área de expansão de forma articulada com o tecido urbano e a malha viária existentes, assim como com a via de ligação proposta entre a Avenida Gomes Júnior e a Rua da Pena, Av. Eugénio de Andrade e linha de caminho-de-ferro (PDM, 2009).

Os parâmetros urbanísticos a adotar para esta área são os constantes da Carta de Qualificação do Solo. Esta UOPG deve ser concretizada através de Plano(s) de Pormenor ou Unidade(s) de Execução.

Atendendo ao regulamento do PDM do concelho de Vila Nova de Gaia, publicado em julho de 2009, juntamente com a Planta de Ordenamento (Carta de Qualificação do Solo), publicada em junho de 2018, pode-se averiguar que a área correspondente à Pedreira da Madalena se encontra classificada como sendo uma 'Área de Expansão Urbana de Uso Geral', mais particularmente como 'Área de Expansão Urbana de Tipologia Mista- Tipo I (0,4)'. Recorrendo ao regulamento em vigor foi possível concluir que as 'Áreas de Expansão Urbana de Tipologia Mista' se destinam à expansão das áreas urbanas de maior

carga urbanística. Os usos atribuídos a estas áreas, segundo o PDM, encontram-se seguidamente enumerados:

- 1) Nas Áreas de Expansão Urbana de Tipologia Mista deve ser promovida a multifuncionalidade.
- 2) Os usos dominantes são os de habitação, comércio e serviços.
- 3) Os usos complementares são os equipamentos.
- 4) Admitem-se ainda, como compatíveis, outros usos, desde que não contrariem o disposto no artigo 12.º (PDM, 2009).

O artigo 12.º, por sua vez, diz respeito a critérios gerais de viabilização dos usos do solo. “Nos casos em que estejam cumpridas todas as exigências legais e regulamentares aplicáveis à situação, as instalações referentes a usos complementares de cada categoria ou subcategoria de espaços apenas podem ser inviabilizadas quando fundamentadamente se considerar que tais instalações provocam prejuízos ou inconvenientes de ordem funcional, ambiental ou paisagística que não possam ser evitados ou eficazmente minimizados.

Sem prejuízo do cumprimento de todos os requisitos exigíveis para cada caso, a viabilização de qualquer atividade ou instalação abrangida nos usos compatíveis com o uso dominante do solo só pode ocorrer quando for considerado que de tal viabilização não decorrem riscos para a segurança de pessoas e bens, nem prejuízos ou inconvenientes de ordem funcional, ambiental ou paisagística. Consideram-se, em geral, como incompatíveis, os usos (dominantes, complementares e compatíveis) que:

- a) Deem lugar a ruídos, fumos, resíduos ou de forma geral prejudiquem as condições de salubridade;
- b) Perturbem as condições de trânsito e de estacionamento, nomeadamente com operações de carga e descarga ou com inoportuno trânsito de veículos;
- c) Apresentem riscos de toxicidade, incêndio e explosão” (PDM, 2009, p. 18).

Em relação à edificabilidade foi também possível deduzir que nas ‘Áreas de Expansão Urbana de Tipologia Mista’, a edificabilidade máxima admitida é igual à ‘área bruta de construção’ (*Abc*) resultante do produto da ‘área total do terreno’ (*Att*), afeto à categoria do espaço, pelo ‘índice de construção bruto’ (*Icb*), que se traduz na seguinte equação:  $Abc = Att \times Icb$ . Nas ‘Áreas de Expansão Urbana de Tipologia Mista de tipo I’, o ‘índice de construção bruto’ (*Icb*) a observar é de 0,4 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. O ‘índice de construção bruto’ representa a “razão entre a área bruta de construção, com exclusão da afeta a equipamentos a localizar em áreas de cedência efetiva ao domínio municipal, e a área total do terreno a que se reporta a operação urbanística” (PDM, 2009, p. 14). Através destes dados tornou-se possível calcular a ‘área bruta de construção’ para o terreno atribuído à Pedreira da Madalena.

Assim sendo e assumindo que a área total aproximada do terreno da pedreira é de 291411,02 m<sup>2</sup>,

$$\begin{aligned}Att &= 291411,02 \text{ m}^2 = 29,14 \text{ ha} \\lcb &= 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^2 \\Abc &= Att \times lcb \\Abc &= 291411,02 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^2 \\Abc &= 116564,41 \text{ m}^2 = 11,66 \text{ ha}\end{aligned}$$

Equação 1 - Edificabilidade máxima admitida pelo PDM de Vila Nova de Gaia para a área da Pedreira da Madalena.

Da área total do terreno da pedreira, a edificabilidade máxima admitida traduz-se em 11,66 ha, ou seja, apenas 116564,41 m<sup>2</sup> estão destinados para 'área bruta de construção' (*Abc*), os restantes 17,48 ha podem conter diversos tipos de cobertura do solo, permitindo a conceção hipotética de diferentes alternativas relacionadas com o uso do solo, que influenciarão os SE em análise. Neste contexto, é de salientar que o valor obtido corresponde à edificabilidade máxima admitida, no entanto não constitui um condicionamento obrigatório a edificação total da área considerada.

## **2. OFERTA E PROCURA DOS SE NA PEDREIRA DA MADALENA E SUA ENVOLVENTE**

O presente capítulo da parte II pretende dar a conhecer os resultados da aplicação da metodologia desenvolvida, mais concretamente o estudo da oferta e da procura dos SE na Pedreira da Madalena e sua envolvente. Sendo que a metodologia assenta em duas ferramentas operacionais, o mapa da ‘oferta combinada de SE’ e o mapa da ‘procura integrada de SE’, a sua concretização constitui o principal alvo do capítulo em causa. A obtenção do mapa da ‘oferta combinada de SE’ resulta da avaliação prévia das áreas de produção e benefício dos SE eleitos, por sua vez o mapa da ‘procura integrada de SE’ emerge da ponderação de um conjunto de variáveis modeladoras da realidade. Neste sentido, nos próximos subcapítulos serão apresentados os mapas e as tabelas resultantes de todos os processos decorrentes e necessários para o alcance das duas ferramentas operacionais.

Após limitada a área de estudo, recorreu-se aos dados geoespaciais do Urban Atlas e obteve-se a classificação detalhada dos tipos de uso do solo para a área delimitada. Depois de planificada a informação base, procedeu-se à classificação de cada uso do solo de acordo com quatro categorias de cobertura do solo, tendo por base a categorização apresentada em Geneletti *et al.* (2020): áreas edificadas e impermeabilizadas (1), solo nu (2), vegetação herbácea e arbustiva (3) e vegetação arbórea (4). O espaço correspondente à Pedreira da Madalena, segundo a classificação do Urban Atlas, insere-se maioritariamente no uso do solo de ‘áreas de extração de inertes e de deposição de resíduos’. Atendendo ao panorama atual, a área é classificada como ‘solo nu’, ou seja, a cobertura da superfície é igual a 2. Naturalmente, na sequência de uma possível recuperação da área será necessário alterar a classificação atribuída, conforme o uso do solo estabelecido.

O mapa da Figura 26 representa graficamente a distribuição dos usos do solo presentes na área de estudo pelas quatro categorias de cobertura, como se pode verificar a área correspondente à pedreira está maioritariamente classificada como ‘solo nu’, visto que esta categorização é a que melhor molda a situação atual.

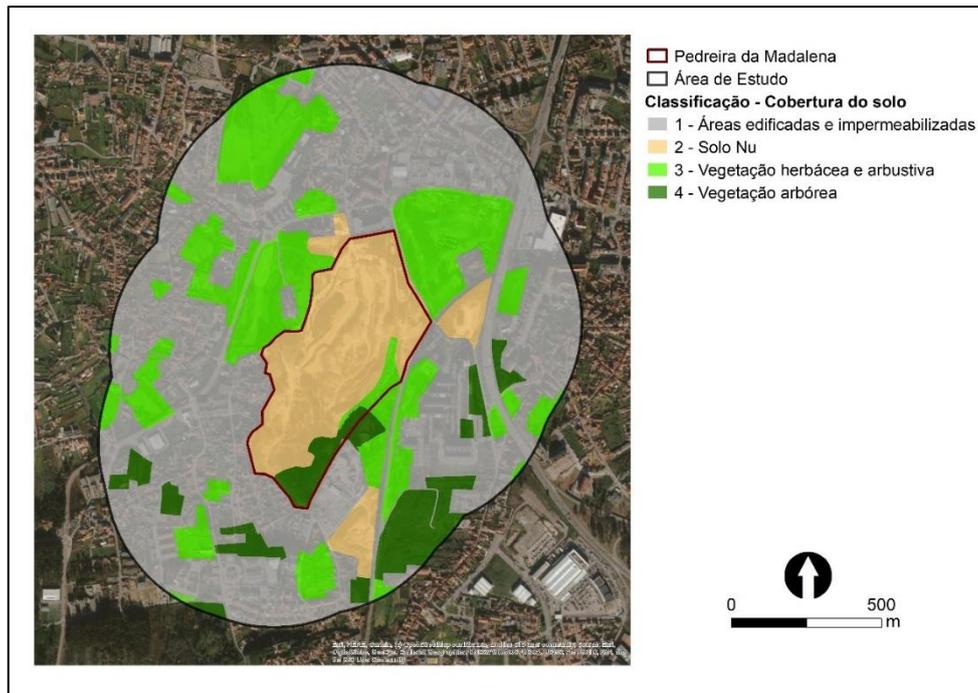


Figura 26 - Distribuição dos usos do solo presentes na área de estudo pelas quatro categorias.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

## 2.1. PRODUÇÃO DOS SE ELEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

A obtenção dos mapas e *scores* de 'produção' dos SE eleitos tornou-se possível tendo por base os valores disponibilizados em Geneletti *et al.* (2020), devidamente adaptados à realidade da área definida para estudo. Depois de eleitos os quatro SE de regulação: Sequestro de Carbono, Melhoria da Qualidade do Ar, Regulação Microclimática e Mitigação do Ruído, foi necessário atribuir os valores de produção aos serviços em análise de acordo com as diferentes categorias de cobertura do solo. O quadro da Tabela 19 sintetiza os valores de produção outorgados a cada SE em concordância com as quatro coberturas do solo, os valores foram convenientemente normalizados e distribuídos numa escala de 0 a 10, onde 10 corresponde ao tipo de cobertura do solo com melhor desempenho e vice-versa.

Tabela 19 - Capacidade de produção dos SE de regulação selecionados por tipos de cobertura do solo (Valores normalizados para uma escala de 0 a 10). (Fonte: Adaptado de Geneletti *et al.*, 2020).

Cobertura do Solo \ SE	SE	SC	MQA	RM	MR
	Áreas edificadas e impermeabilizadas		0	0	0
Solo Nu		5.3	0	3.3	0
Vegetação herbácea e arbustiva		5.4	2	3.3	1.8
Vegetação arbórea		10	5	10	10

Depois da capacidade de produção padronizada dos SE selecionados ter sido acordada e atribuída, procedeu-se ao cálculo do *score* de produção de cada serviço de acordo com área delimitada.

Para obter um valor de produção dos SE para cada tipologia do solo presente no espaço delimitado, foi necessário que a área total da superfície de cada tipo de cobertura do solo (*Asup*) fosse multiplicada pelo valor padronizado (*Std*) correspondente e, em seguida, as contribuições (*Contr.*) dos diferentes tipos de cobertura do solo fossem somadas.

Posteriormente, o somatório da contribuição foi dividido pela área total da superfície de estudo com o intuito de obter uma pontuação final entre 0 e 10, que representasse a capacidade de produção da área em estudo para cada serviço em análise. Tendo por base que a área total da superfície em estudo (*Atotal*) é de 2271942,096 m<sup>2</sup>, tornou-se possível a elaboração dos seguintes quadros (Tabelas 20, 21, 22, 23) que sintetizam os resultados das operações matemáticas efetuadas para obter o *score* de produção de cada serviço. Cada quadro é devidamente acompanhado do mapa de produção do SE em causa (Figuras 27, 28, 29, 30).

Tabela 20 - *Score* de produção do SE de sequestro de carbono.

<b>Sequestro de Carbono (Produção)</b>			
<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Área da superfície de cada tipo de cobertura do solo</b>		<b>Pontuação de Produção</b> [Contr. / Atotal]
	(m <sup>2</sup> ) [Asup]	<b>Contribuição</b> [Asup x Std]	
Áreas edificadas e impermeabilizadas	1324322,405	0,000	0,000
Solo Nu	311895,057	1653043,803	0,728
Vegetação herbácea e arbustiva	482819,893	2607227,423	1,148
Vegetação arbórea	152904,741	1529047,408	0,673
<b>SOMA (Σ)</b>	<b>2271942,096</b>	<b>5789318,634</b>	<b>2,548</b>

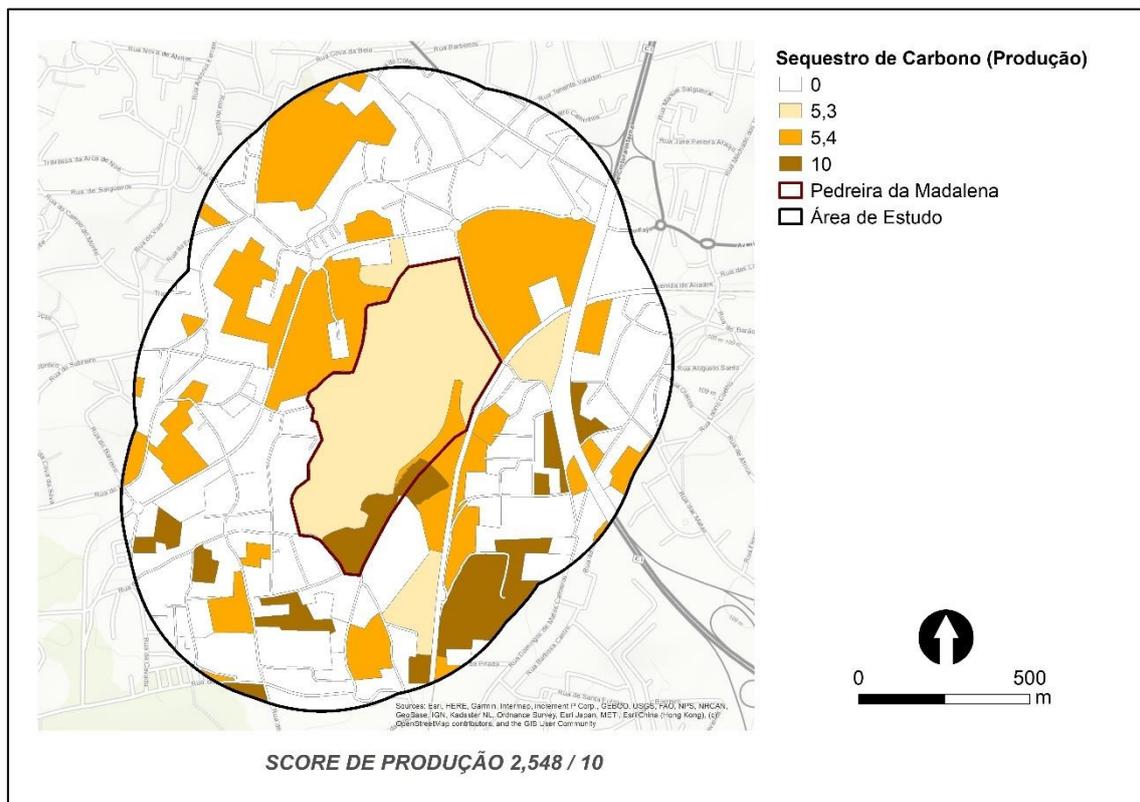


Figura 27 - Capacidade de produção do SE de sequestro de carbono na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

Tabela 21 - *Score* de produção do SE de melhoria da qualidade do ar.

<b>Melhoria da Qualidade do Ar (Produção)</b>			
<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Área da superfície de cada tipo de cobertura do solo</b>		<b>Pontuação de Produção</b> [Contr. / Atotal]
	(m <sup>2</sup> ) [Asup]	<b>Contribuição</b> [Asup x Std]	
Áreas edificadas e impermeabilizadas	1324322,405	0,000	0,000
Solo Nu	311895,057	0,000	0,000
Vegetação herbácea e arbustiva	482819,893	965639,786	0,425
Vegetação arbórea	152904,741	764523,704	0,337
<b>SOMA (∑)</b>	<b>2271942,096</b>	<b>1730163,490</b>	<b>0,762</b>

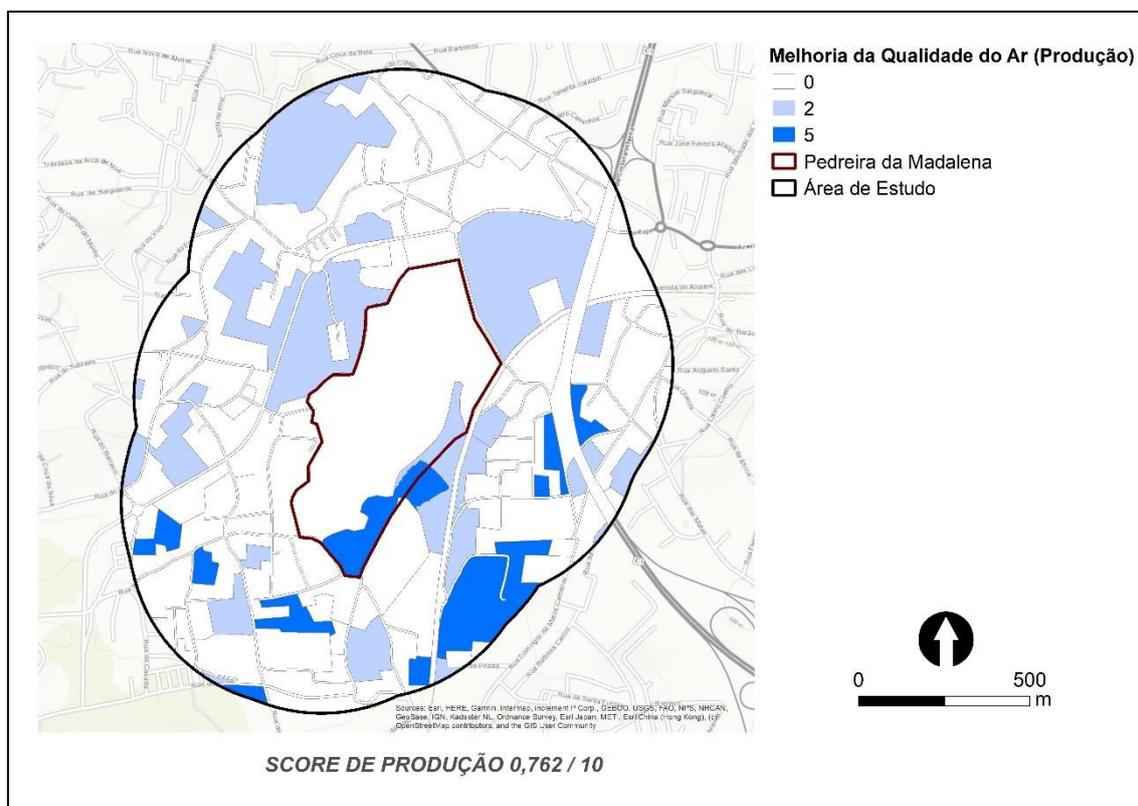


Figura 28 - Capacidade de produção do SE de melhoria da qualidade do ar na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

Tabela 22 - *Score* de produção do SE de regulação microclimática.

<b>Regulação Microclimática (Produção)</b>			
<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Área da superfície de cada tipo de cobertura do solo</b>		<b>Pontuação de Produção</b> [Contr. / Atotal]
	(m <sup>2</sup> ) [Asup]	<b>Contribuição</b> [Asup x Std]	
Áreas edificadas e impermeabilizadas	1324322,405	0,000	0,000
Solo Nu	311895,057	1029253,689	0,453
Vegetação herbácea e arbustiva	482819,893	1593305,647	0,701
Vegetação arbórea	152904,741	1529047,408	0,673
<b>SOMA (Σ)</b>	<b>2271942,096</b>	<b>4151606,744</b>	<b>1,827</b>

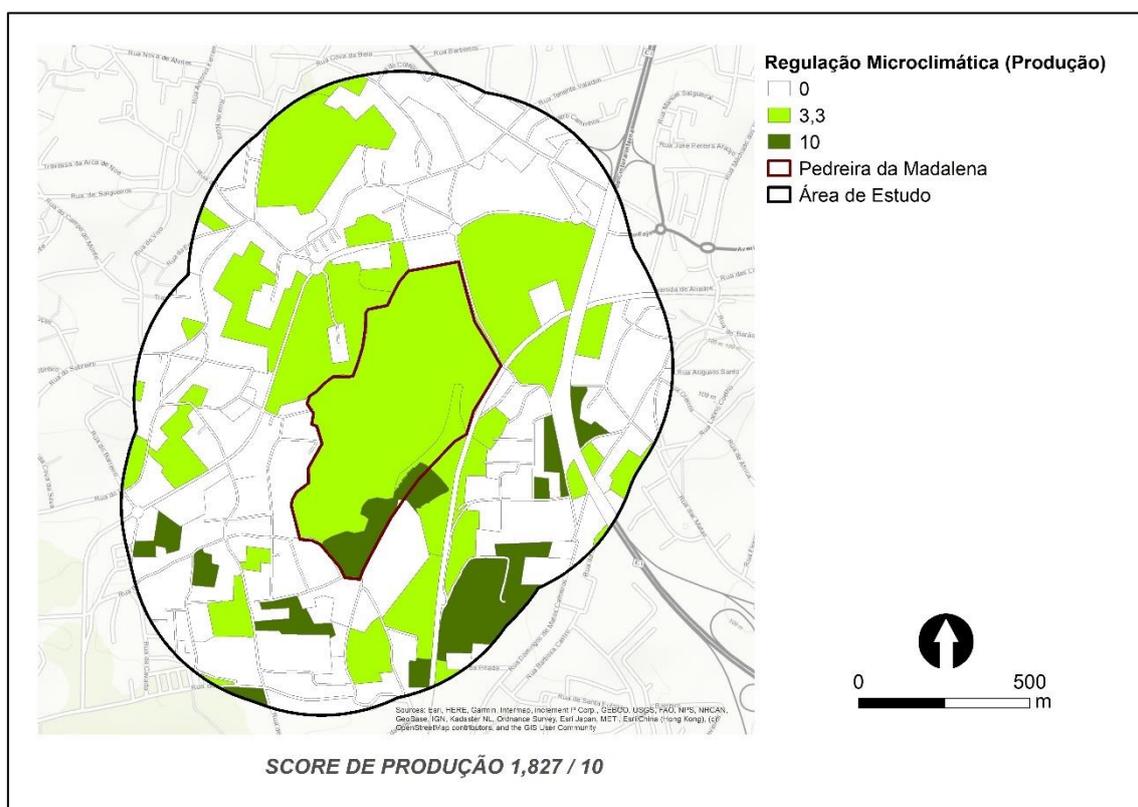


Figura 29 - Capacidade de produção do SE de regulação microclimática na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

Tabela 23 - Score de produção do SE de mitigação do ruído.

<b>Mitigação do Ruído (Produção)</b>			
<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Área da superfície de cada</b>	<b>Contribuição</b> [Asup x Std]	<b>Pontuação de</b> <b>Produção</b> [Contr. / Atotal]
	<b>tipo de cobertura do solo</b> (m <sup>2</sup> ) [Asup]		
Áreas edificadas e impermeabilizadas	1324322,405	0,000	0,000
Solo Nu	311895,057	0,000	0,000
Vegetação herbácea e arbustiva	482819,893	869075,808	0,383
Vegetação arbórea	152904,741	1529047,408	0,673
<b>SOMA (Σ)</b>	<b>2271942,096</b>	<b>2398123,215</b>	<b>1,056</b>

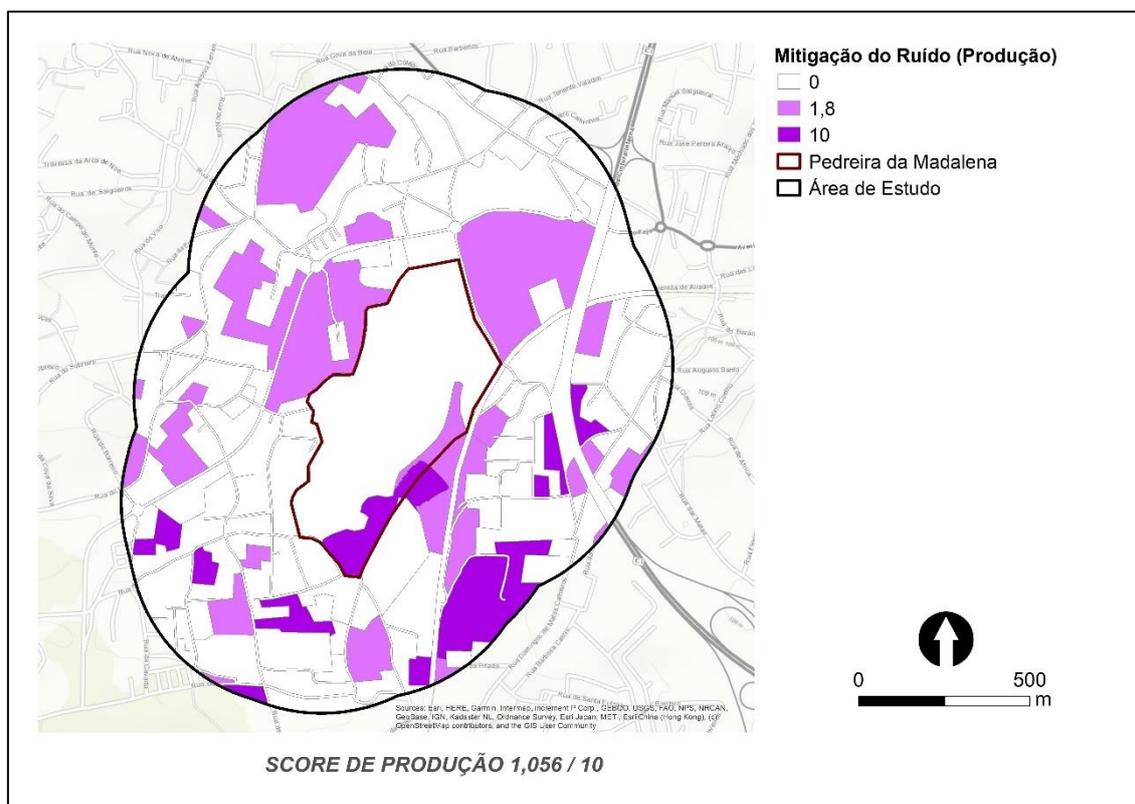


Figura 30 - Capacidade de produção do SE de mitigação do ruído na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

## 2.2. BENEFÍCIO DOS SE ELEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

A elaboração dos mapas de benefício dos SE eleitos, como enunciado no capítulo da metodologia proposta, resulta da combinação da informação disponibilizada em Geneletti *et al.* (2020) e de Derkzen *et al.* (2015). Os *scores* de benefício foram obtidos aplicando-se os mesmos procedimentos e operações empregues para a alcançar os *scores* de produção, resultando uma pontuação normalizada compreendida entre 0 e 10. Os resultados da análise dos benefícios variam dependendo do SE. Relativamente ao serviço de sequestro de carbono, que se presume estar igualmente distribuído na área da amostra, não é necessária nenhuma análise espacial adicional. Para o sequestro de carbono, a mesma pontuação é atribuída a todas as áreas (Figura 31). Para os SE que originam áreas de benefício locais determinadas pela proximidade às áreas de produção, os resultados da análise de benefício são apresentados nas figuras 32, 33 e 34. Tanto para a melhoria da qualidade do ar, como para o serviço de regulação microclimática, quanto para o SE de mitigação do ruído, a classificação da área de estudo tem um *score* de benefício diferente do *score* de produção.

No mapa de benefício do **sequestro de carbono** (Figura 31) as áreas de benefício são coincidentes com as áreas de produção, sendo a sua capacidade a mesma, desta forma o *score* de benefício de 2,548 é idêntico ao *score* de produção, o valor permanece inalterável. A contribuição dos benefícios é igual aos valores de produção, o que se traduz no mesmo *score* para ambas as funções.

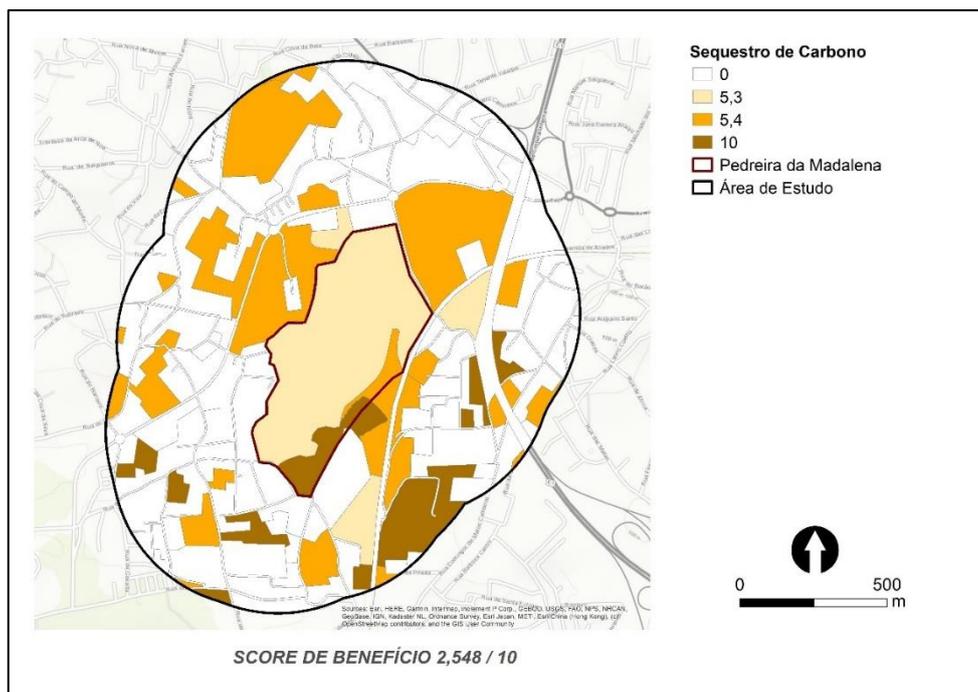


Figura 31 - Avaliação do benefício do SE de sequestro de carbono na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

No caso do SE da **melhoria da qualidade do ar**, o *score* de benefício é superior ao *score* de produção, uma vez que a principal fonte de poluição do ar a ter em conta são as redes viárias e ferroviárias (vias) e quanto mais próximo os espaços verdes (EV) - áreas com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea - estiverem das fontes de poluição, maior é a redução das concentrações de poluição do ar. A Tabela 24 e o mapa da Figura 32 apresentam a pontuação de benefício do SE em causa e a representação gráfica do benefício, respetivamente.

Tabela 24 - *Score* de benefício do SE de melhoria da qualidade do ar.

<b>Melhoria da Qualidade do Ar (Benefício)</b>			
<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Área da superfície de cada tipo de cobertura do solo</b>	<b>Contribuição</b>	<b>Pontuação de Benefício</b>
Áreas edificadas / Solo Nu	1636217,456	0,000	0,000
<i>Buffer</i> 50 m a partir das vias <sup>1</sup>	271342,213	1085368,854	0,478
Vegetação herbácea e arbustiva	211477,686	422955,372	0,186
<i>Buffer</i> 50 m a partir das vias <sup>2</sup>	88352,410	883524,098	0,389
Vegetação arbórea	64552,331	322761,654	0,142
<b>SOMA (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>2271942,096</b>	<b>2714609,978</b>	<b>1,195</b>

1 - Vegetação herbácea e arbustiva; 2- Vegetação arbórea.

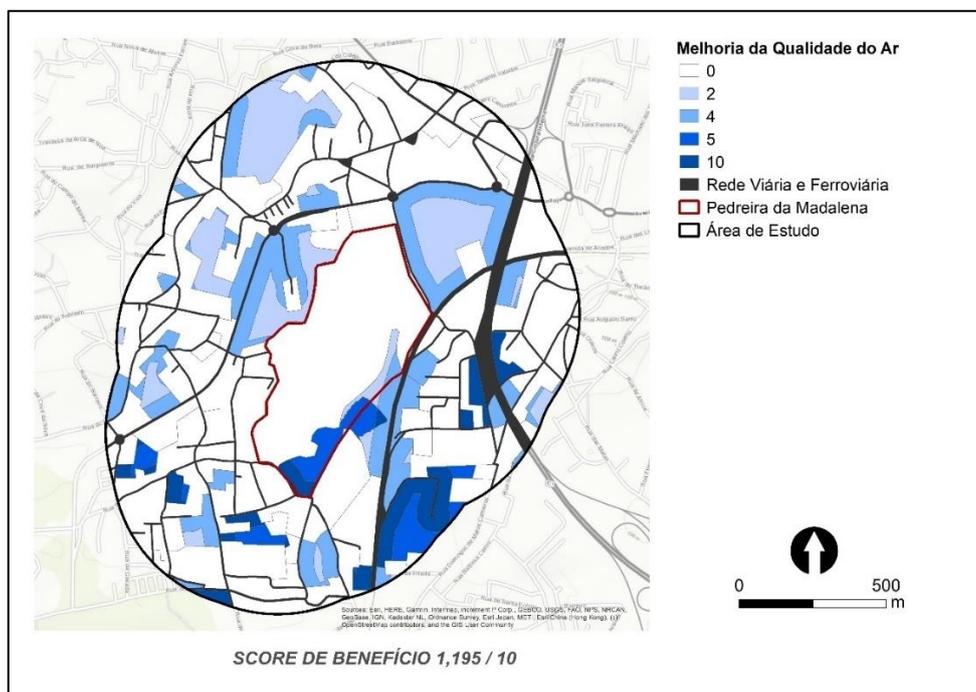


Figura 32 - Avaliação do benefício do SE de melhoria da qualidade do ar na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

A Tabela 25 e o mapa da Figura 33 representam a avaliação dos benefícios para o serviço de **regulação microclimática**. Neste caso, o *score* de benefício também é superior ao *score* de produção, já que aos *buffers* em torno dos EV é atribuído metade do valor da própria área e nos casos de sobreposição com outras superfícies predominam os benefícios das coberturas do solo com maior valor outorgado.

Tabela 25 - *Score* de benefício do SE de regulação microclimática.

Regulação Microclimática (Benefício)			
Cobertura do Solo	Área da superfície de cada tipo de cobertura do solo	Contribuição	Pontuação de Benefício
Áreas edificadas	244147,250	0,000	0,000
<i>Buffer</i> 100 m em torno dos EV <sup>1</sup>	638142,357	1052934,889	0,463
Vegetação herbácea e arbustiva	642694,442	2120891,660	0,934
Solo Nu			
<i>Buffer</i> 100 m em torno dos EV <sup>2</sup>	594054,504	2970272,520	1,307
Vegetação arbórea	152903,528	1529035,282	0,673
<b>SOMA (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>2271942,081</b>	<b>7673134,352</b>	<b>3,377</b>

1 - Vegetação herbácea e arbustiva; 2- Vegetação arbórea.

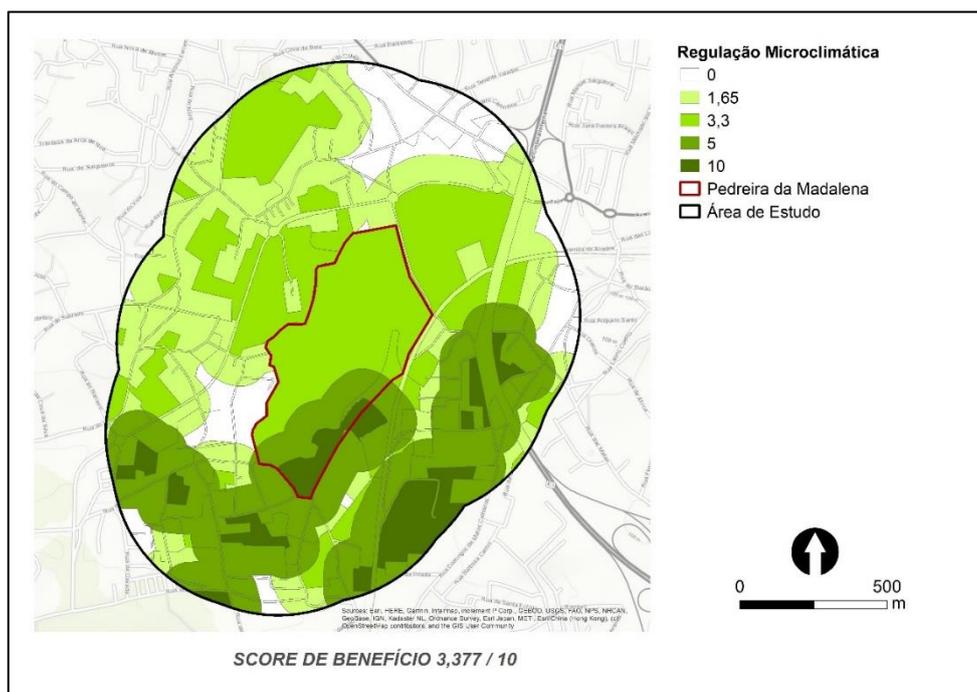


Figura 33 - Avaliação do benefício do SE de regulação microclimática na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

No serviço de **mitigação do ruído** o *score* de benefício é inferior ao *score* de produção, este fenómeno é justificável pelo facto de apenas os espaços verdes englobados pelo *buffer* em redor das vias agregarem pontuação de benefício para a redução da perturbação, como demonstrado na Tabela 26 e no mapa da Figura 34.

Tabela 26 - *Score* de benefício do SE de mitigação do ruído.

<b>Mitigação do Ruído (Benefício)</b>			
<b>Cobertura do Solo</b>	<b>Área da superfície de cada tipo de cobertura do solo</b>	<b>Contribuição</b>	<b>Pontuação de Benefício</b>
Áreas edificadas			
Solo Nu	1912247,467	0,000	0,000
Vegetação herbácea e arbustiva			
Vegetação arbórea			
<i>Buffer</i> 50 m a partir das vias <sup>1</sup>	271342,211	488415,980	0,215
<i>Buffer</i> 50 m a partir das vias <sup>2</sup>	88352,418	883524,184	0,389
<b>SOMA (Σ)</b>	<b>2271942,096</b>	<b>1371940,164</b>	<b>0,604</b>

1 - Vegetação herbácea e arbustiva; 2- Vegetação arbórea.

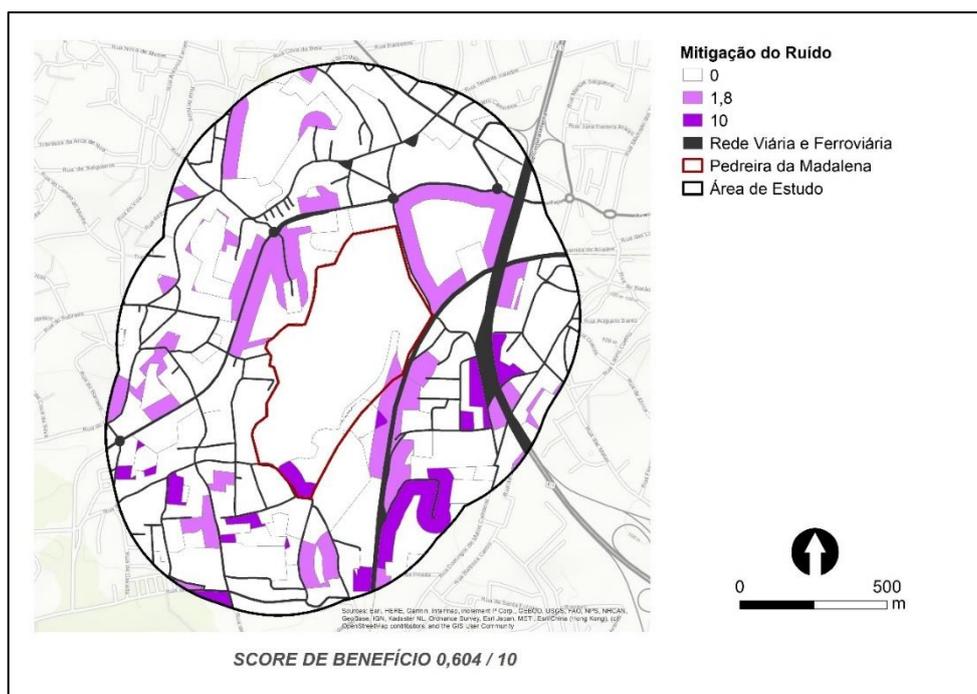


Figura 34 - Avaliação do benefício do SE de mitigação do ruído na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

### 2.3. OFERTA COMBINADA DE SE NA ÁREA DE ESTUDO

A presente etapa diz respeito à obtenção do mapa da 'oferta combinada de SE', que emerge do somatório dos mapas de 'benefício', que por sua vez derivam dos mapas de 'produção' (Figura 35). O mapa resultante da etapa 4 resume a oferta, proporcionada pela a área de estudo, para os quatro SE de regulação selecionados.

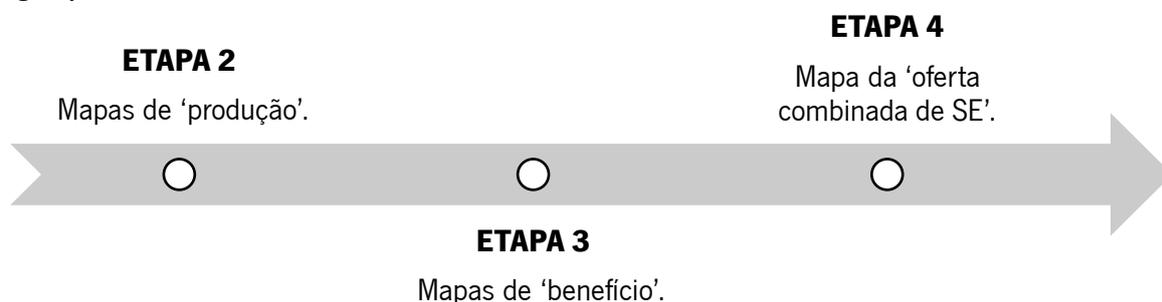


Figura 35 - Articulação das etapas 2, 3 e 4.

Para a elaboração desta etapa recorreu-se à metodologia apresentada em Cortinovis e Geneletti (2020), sendo o mapa da oferta combinada a primeira ferramenta operacional em que assenta a metodologia adotada. O somatório dos mapas de benefício, devidamente normalizados e formatados, origina o mapa representado na Figura 36 - Mapa da 'oferta combinada de serviços ecossistémicos'.

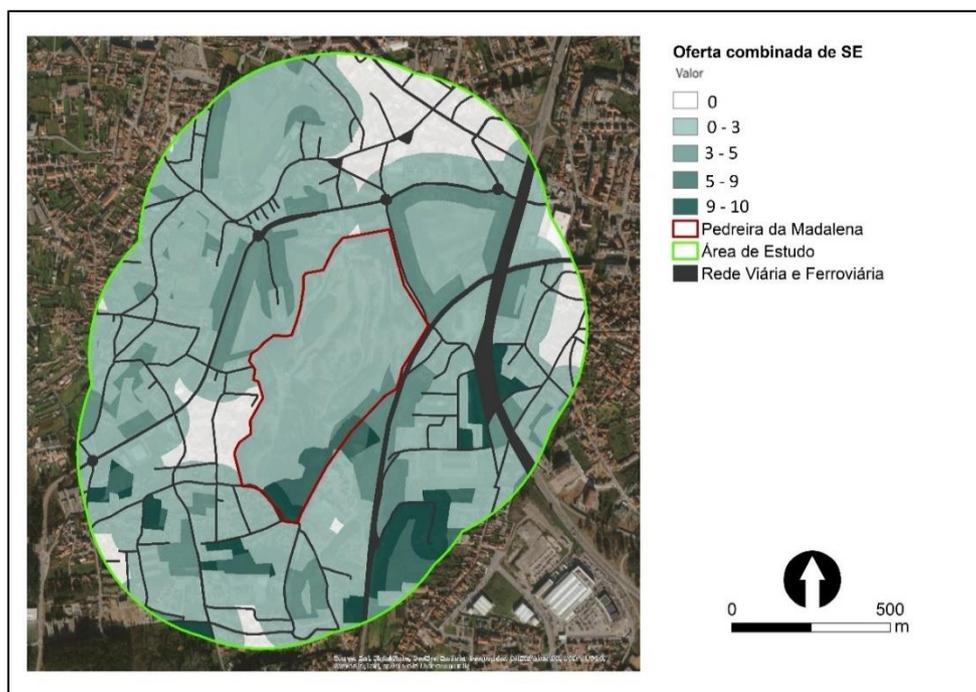


Figura 36 - Oferta combinada de SE na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

Na análise do mapa da 'oferta combinada de SE' da Figura 36, os territórios com maior classificação de benefício correspondem às áreas cobertas com vegetação arbórea. Seguidamente, os usos do solo com vegetação arbustiva e gramíneas apresentam também razoáveis valores de oferta para os SE de regulação eleitos. A área correspondente à Pedreira da Madalena ostenta maioritariamente uma classificação de oferta diminuta, visto que na atualidade a pedreira se enquadra em grande escala na tipologia de solo descoberto ou nu. Neste contexto, o estudo de uma alternativa de reconversão para área da pedreira torna-se extremamente pertinente. Um hipotético cenário composto por uma área edificada com vegetação, que respeite os padrões de uma 'Área de Expansão Urbana de Tipologia Mista', permitirá maximizar os SE na área de estudo, que por sua vez beneficiarão a população local. Por último, as áreas intensamente edificadas e impermeabilizadas, bem como distantes dos espaços verdes, apresentam uma classificação de oferta combinada de SE nula.

No caso concreto da área da Pedreira da Madalena o valor médio do indicador de oferta é de 2,74, o que segundo a tabela 16, se traduz numa possível intervenção com impacto qualitativo 'médio', que requer um *score* ou nível de desempenho de 4 pontos.

## 2.4. PROCURA DOS SE ELEITOS NA ÁREA DE ESTUDO

A penúltima secção deste capítulo aborda a construção dos mapas de 'procura' dos SE eleitos. A elaboração dos mapas individuais de procura dos SE exige a obtenção de novos dados, referentes à população e algumas características físicas e climatológicas da área de estudo.

Por meio da informação disponibilizada pela BGRI, derivada dos Censos de 2011, foi possível obter os dados relacionados com a população, isto é, o número de indivíduos residentes por subsecção na área de estudo, bem como a proporção de residentes pertencentes a grupos vulneráveis presentes no local de estudo (Figura 37).

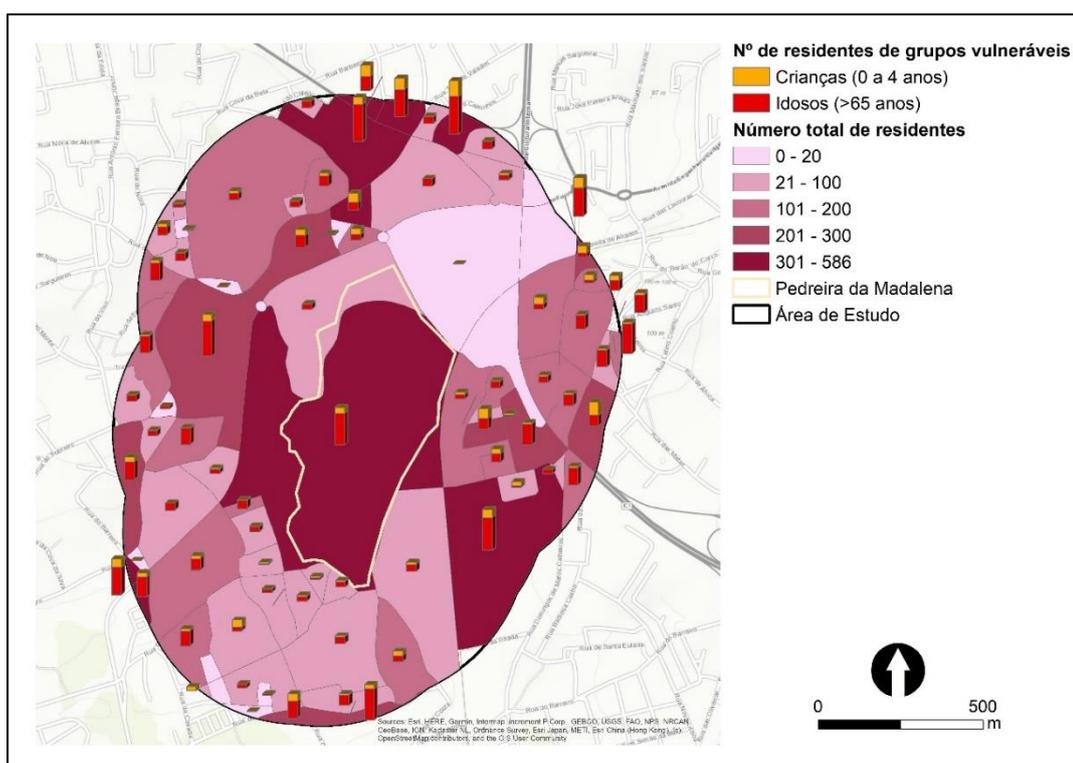


Figura 37 - Número total de residentes e proporção de residentes pertencentes a grupos vulneráveis na área de estudo, por subsecção estatística.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados da BGRI de 2011).

Os grupos populacionais vulneráveis residentes na área de estudo remetem para crianças com idades compreendidas entre os 0 e os 4 anos e idosos com mais de 65 anos, a escolha destas faixas etárias baseia-se no senso comum que atribui uma maior taxa de fragilidade a estes grupos etários, que por sua vez poderão ser mais sensíveis a possíveis variações e intervenções nos SE.

A análise do mapa da Figura 37 permite apurar que as subsecções com maior número de residentes são também as subsecções com maior número de pessoas pertencentes aos grupos vulneráveis, como seria de esperar. Os gráficos verticais, que permitem estabelecer uma comparação entre as duas vertentes dos grupos vulneráveis, confirmam que a população residente na área delimitada é maioritariamente idosa quando confrontada com o número de crianças. Numa escala local pode-se afirmar que a população residente em redor da Pedreira da Madalena é envelhecida.

Os mapas das figuras 38 e 39 exibem a percentagem de crianças e idosos residentes por subsecção estatística em relação ao número total dos respetivos grupos na área de estudo, sendo o número total de crianças - 517 indivíduos - e no caso dos idosos - 1613 indivíduos -, mais do dobro do número total de crianças.

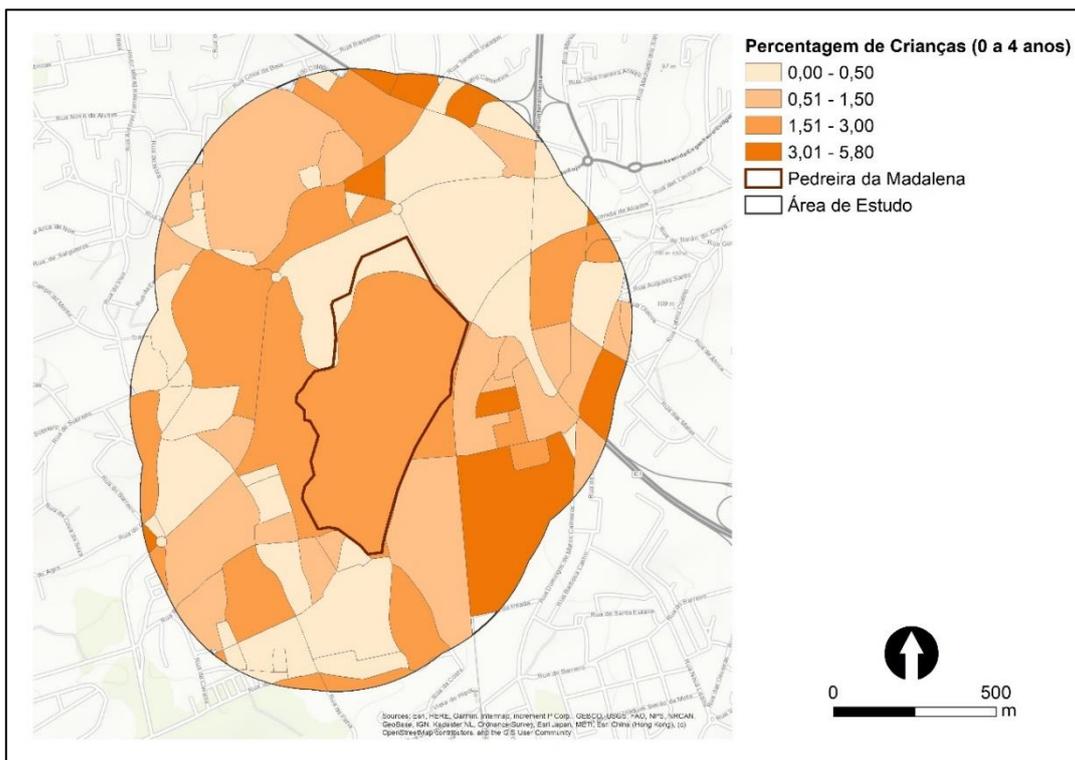


Figura 38 - Percentagem de crianças entre os 0 e 4 anos residentes na área de estudo, por subsecção estatística.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados da BGRI de 2011).

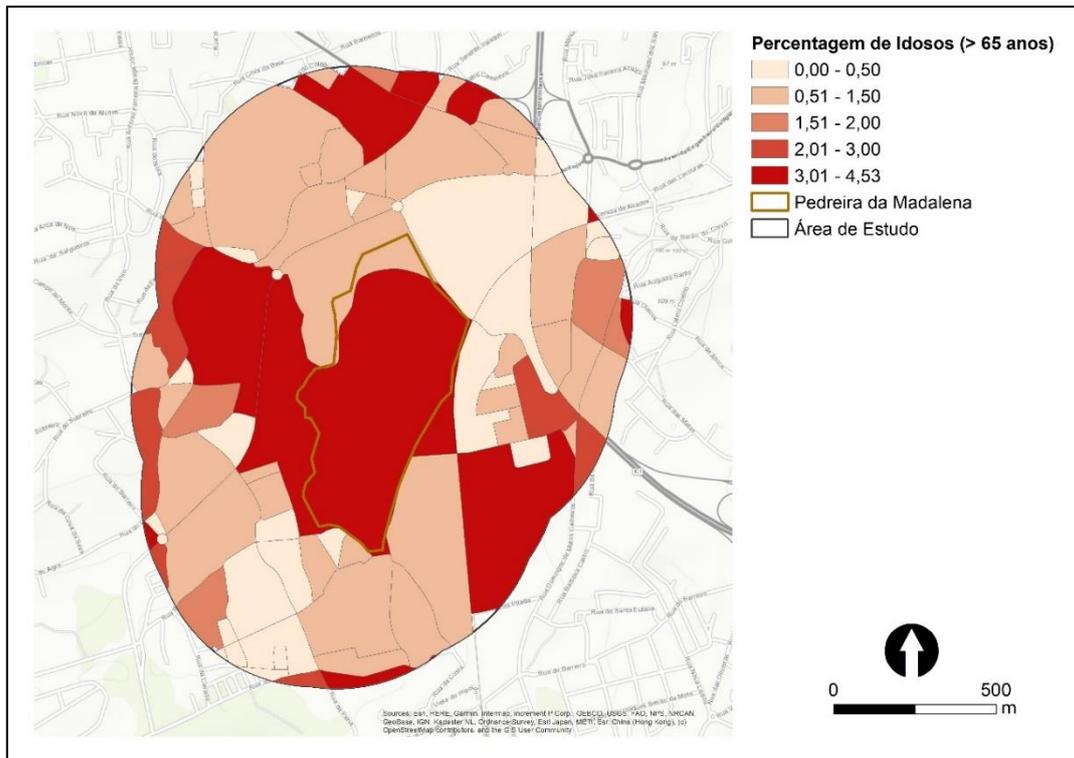


Figura 39 - Percentagem de idosos com mais de 65 anos residentes na área de estudo, por subsecção estatística.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados da BGRI de 2011).

O estudo das figuras 38 e 39 permite comprovar uma distribuição homogénea de ambas as vertentes dos grupos vulneráveis pelas diferentes subsecções, apesar da disparidade dos valores totais o seu comportamento na disposição é fortemente semelhante.

A próxima vertente a ter em conta diz respeito às infraestruturas presentes na área de estudo, nomeadamente o número de alojamentos edificados por subsecção estatística, cujo os dados também foram disponibilizados pela BGRI de 2011 (Figura 40).



Figura 40 - Número total de alojamentos na área de estudo, por subsecção estatística.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados da BGRI de 2011).

A distribuição de alojamentos (Figura 40), uma vez mais apresenta uma forte correlação com o número total de residentes. Sendo *a priori* lógico, a ideia de que um maior número de alojamentos disponíveis acarreta um maior número de população residente.

Em relação à parte climatológica, os dados relativos à temperatura de superfície (TS) foram compostos por via de uma imagem de satélite, disponibilizada no site da *USGS - Earth Explorer*. Elegeu-se o satélite *Landsat 8 Oli* e optou-se por um registo datado de 5 de agosto de 2018, uma vez que as condições meteorológicas eram favoráveis à captação de imagem na área em questão (Figura 41).

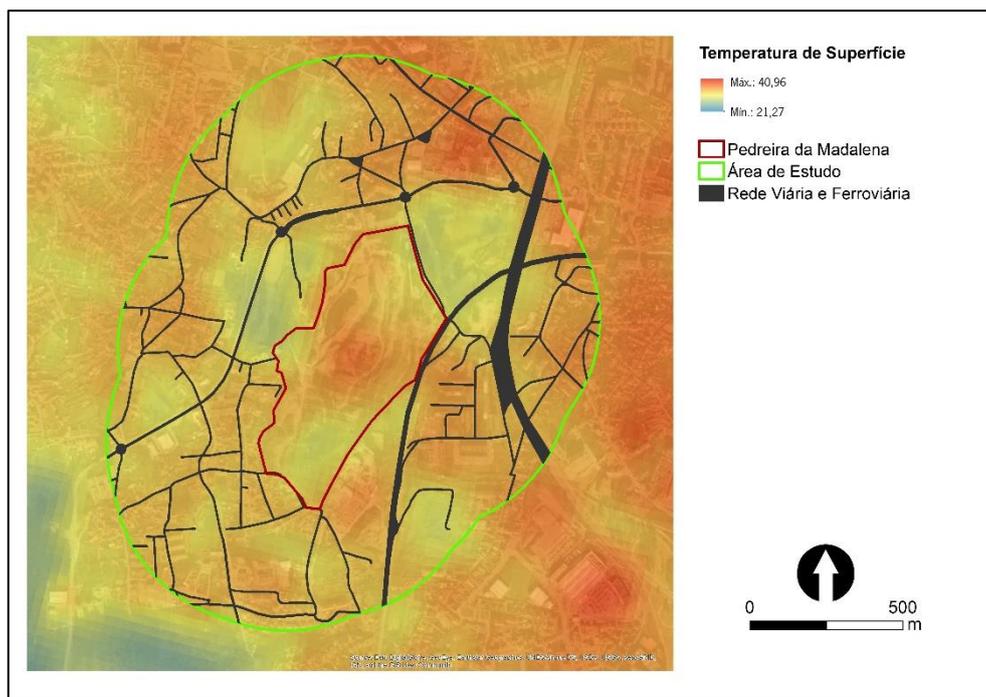


Figura 41 - Temperatura de superfície na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, com base no *Landsat 8* [5 de agosto de 2018]).

Numa primeira análise do mapa da Figura 41, relativo à TS verificada na área de estudo, observa-se que a temperatura se encontra condicionada pelas diferentes tipologias de uso do solo. Efetivamente, constata-se que os focos urbanos com áreas edificadas e impermeabilizadas são os locais que exibem TS mais elevadas. Por sua vez, os espaços com mais vegetação apresentam TS mais baixas, constituindo importantes ilhas de frescura. Assim sendo, as subsecções com maior número de alojamentos, que por sua vez abrangem áreas com maior número de residentes (nomeadamente, os pertencentes a grupos vulneráveis), encontram-se particularmente expostas a situações de calor extremo.

O mapa da procura integrada de SE resume a procura para os quatro SE selecionados, este tem como propósito priorizar as ações baseadas no ecossistema na área de estudo. Para proceder à elaboração dos mapas da procura, previamente foi necessário normalizar todos os dados alusivos às variáveis modeladoras da realidade. Relembrando, que todas as variáveis eleitas para determinado SE têm o mesmo peso na obtenção do mapa da procura do respetivo serviço.



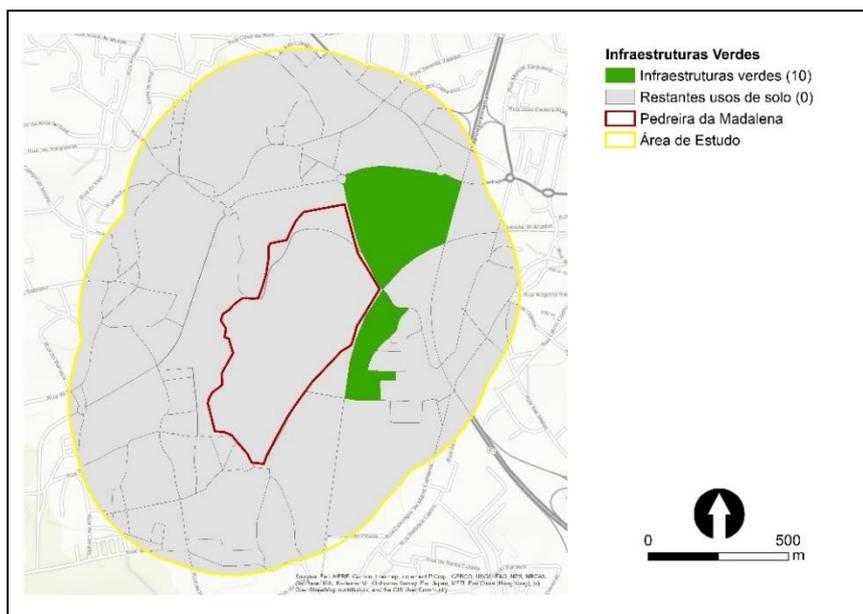


Figura 43 - Infraestruturas verdes presentes na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

Após a junção das quatro variáveis obteve-se o mapa da procura da melhoria da qualidade do ar (Figura 44).

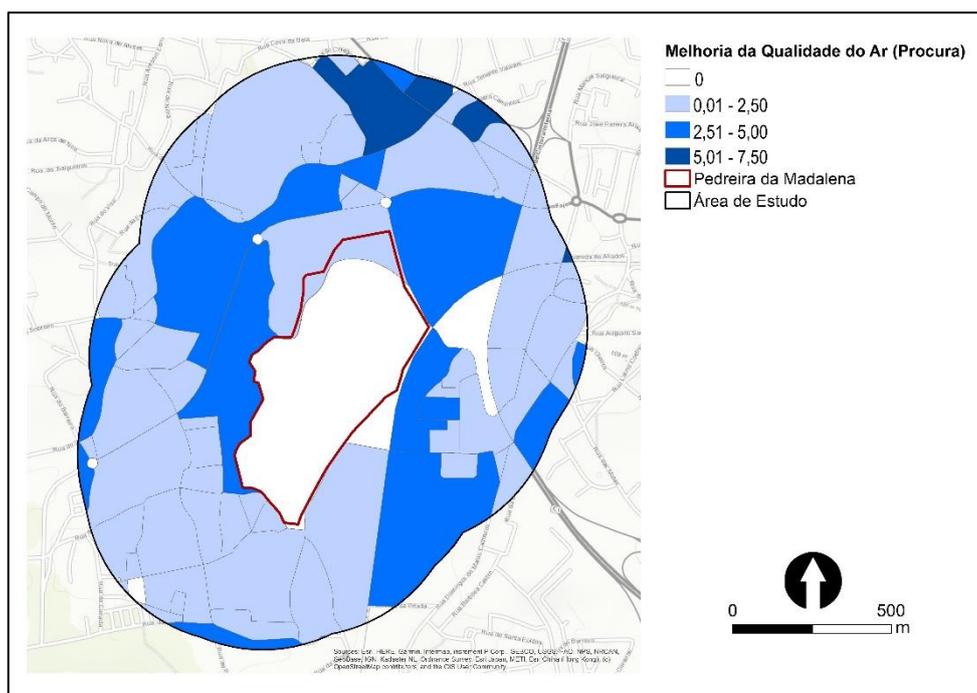


Figura 44 - Procura do SE de melhoria da qualidade do ar na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).



## ▪ Mitigação do Ruído

A obtenção do mapa da procura do serviço de mitigação do ruído considera novamente a variável representativa do número de alojamentos e combina uma nova variável, referente à existência de equipamentos ou instituições suscetíveis à presença de ruído. Contudo, a área delimitada para estudo apenas alberga dois equipamentos escolares, aos quais se atribui uma pontuação de 10 valores na procura do SE e às restantes subsecções outorga-se uma pontuação nula. O mapa da Figura 46 exhibe a disposição dos dois centros escolares - equipamentos suscetíveis ao ruído - presentes na área de estudo, aos que se atribuiu uma pontuação máxima pela procura da mitigação do ruído.

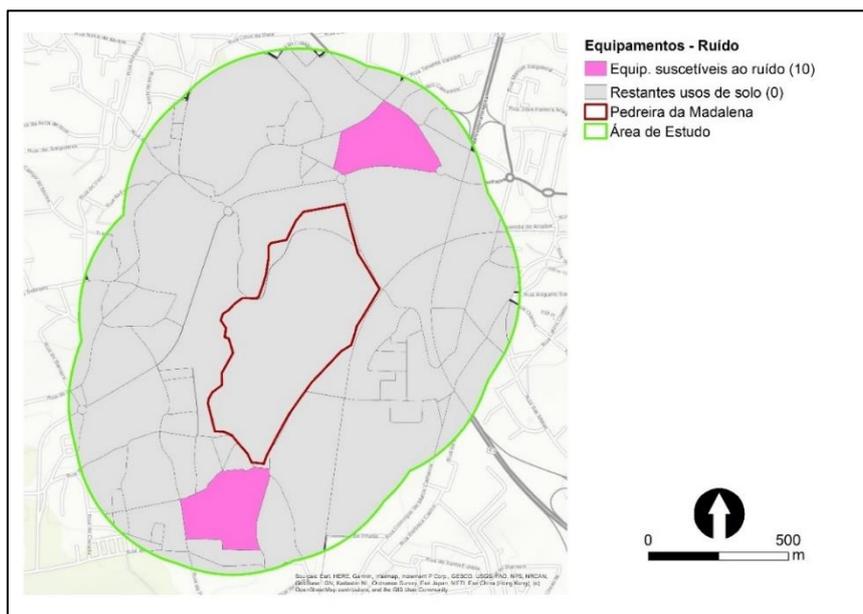


Figura 46 - Equipamentos suscetíveis à presença de ruído na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

A conjugação das duas variáveis, anteriormente enunciadas, permite construir o mapa da procura do SE de mitigação do ruído (Figura 47).

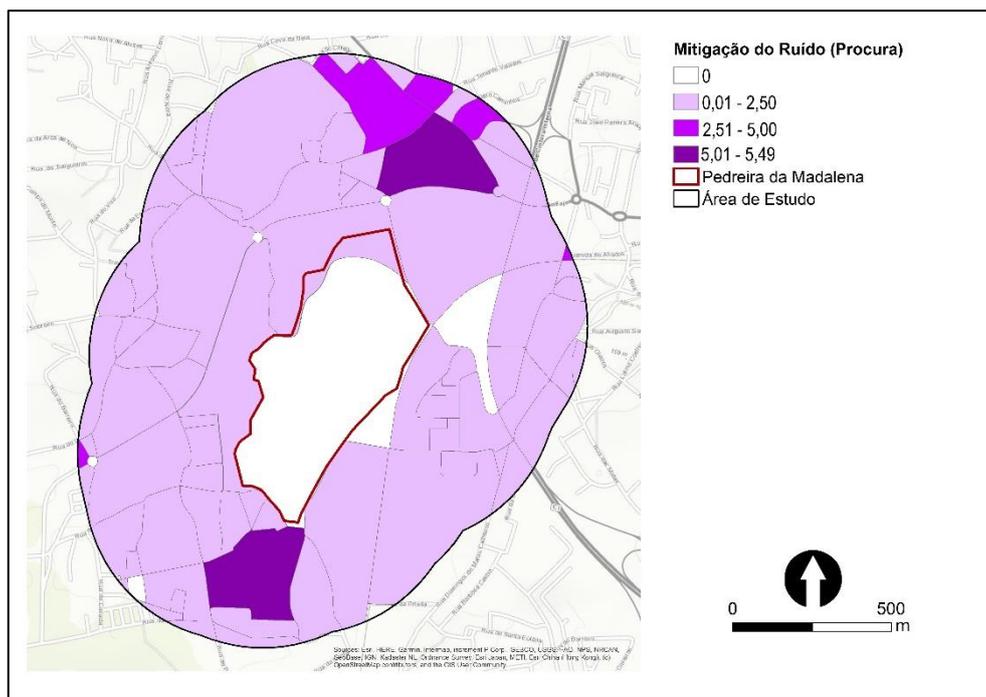


Figura 47 - Procura do SE de mitigação do ruído na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

O mapa da procura da mitigação do ruído reflete perfeitamente a união das duas variáveis eleitas no cálculo, sobressaindo fundamentalmente a procura nas duas subsecções em que se inserem os centros escolares e num segundo plano as áreas com maior número de alojamentos. Cada variável tem um peso de 50%, permitindo uma vez mais uma distribuição uniforme da influência dos fatores.

A procura dos SE é substancialmente afetada pela distribuição da população na área de estudo, deste modo, os mapas da procura são mais semelhantes entre si em comparação com os de oferta atual. Por padrão, os territórios artificializados são caracterizados por uma maior centralização de procura dos SE nos quatro mapas, embora os hotspots variem dependendo do SE. No caso do serviço de sequestro de carbono sobressai a procura nas áreas residenciais de tecido urbano (Figura 42). Na remoção de poluentes atmosféricos além dos focos habitacionais, destacam-se também os espaços verdes e de lazer, como por exemplo o campo de golf que flanqueia a Pedreira da Madalena (Figura 44). A procura pela regulação microclimática é realçada nos tecidos urbanos contínuos e descontínuos, isto é, mais uma vez, áreas residenciais que coincidem com terrenos com maior temperatura superficial, onde a dissipação do calor é mais complicada (Figura 45). O serviço de mitigação do ruído apresenta um mapa de procura menos padronizado, embora realce maioritariamente a necessidade de intervenção em

territórios artificializados, estes não correspondem simplesmente a áreas residenciais e englobam também superfícies com equipamentos suscetíveis ao ruído - equipamentos de educação (Figura 47).

## 2.5. PROCURA INTEGRADA DE SE NA ÁREA DE ESTUDO

Depois de produzir os quatro mapas individuais de 'procura', estão reunidas as condições para compor o mapa final da 'procura integrada de SE'. A aplicação da ferramenta '*Grouping Analysis*' permite obter um mapa síntese da procura (Figura 48), assim como um conjunto de dados estatísticos (Figura 49), que auxiliam na compreensão da procura integrada dos SE na área de estudo.

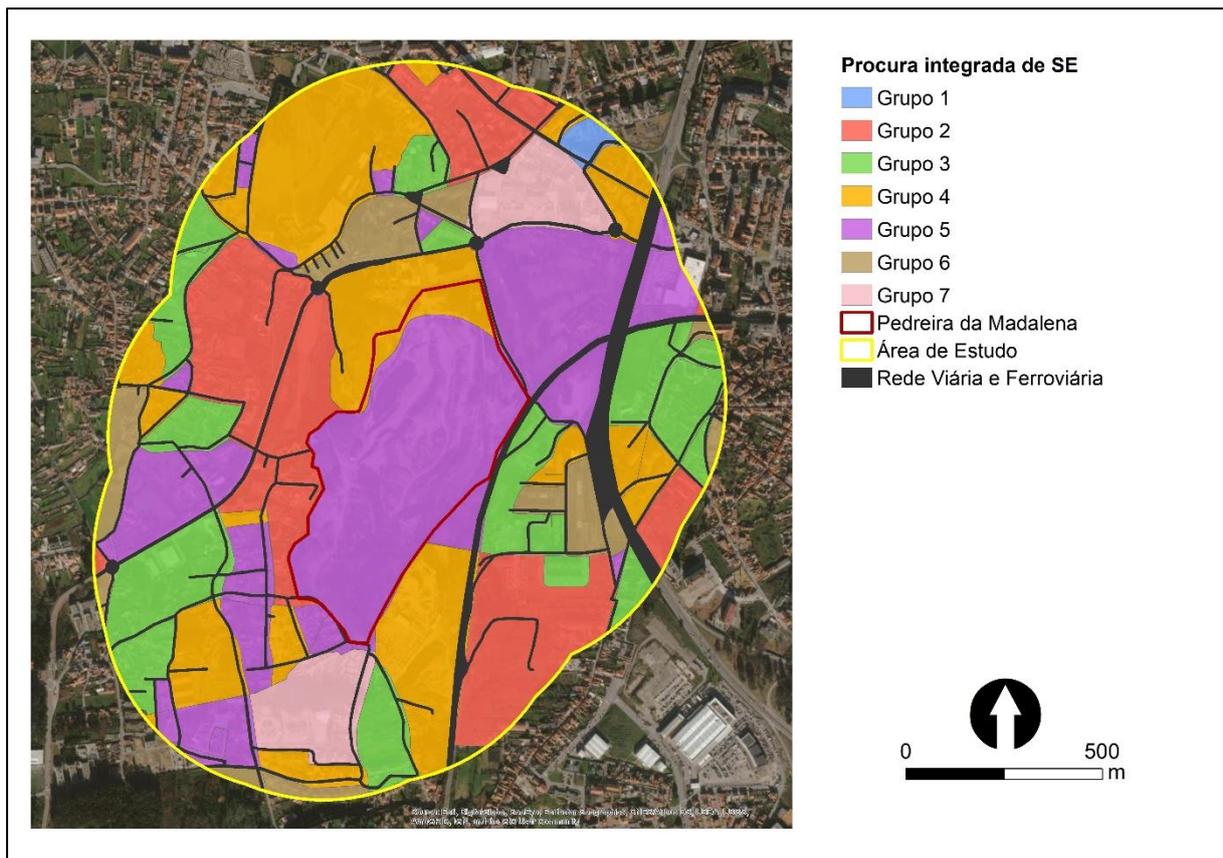


Figura 48 - Procura integrada de SE na área de estudo.

(Fonte: Elaboração própria, tendo por base dados do Urban Atlas de 2018).

O esquadramento pormenorizado dos dados estatísticos disponibilizados pelo '*Grouping Analysis*', nomeadamente o diagrama de quartis (Figura 49) fornece indicações acerca da distribuição de cada variável (*i.e.*, de cada SE) na área de estudo, bem como o valor da *Estatística f (f-stat)* de cada SE em cada cluster.

As subsecções pertencentes aos grupos 1, 2 e 6 apresentam uma elevada procura para os quatro SE, pelo que nestas áreas deve ser priorizada a implementação de soluções baseadas no ecossistema. Seguidamente, as subsecções englobadas pelo grupo 3 apresentam uma procura média-alta dos quatro serviços. Este grupo também ostenta alguma necessidade de intervenção. Depois destacam-se as áreas do grupo 4, que patenteiam uma procura média-baixa dos SE eleitos. Posteriormente, temos o grupo 7, que exhibe um comportamento mais atípico, uma vez que apresenta uma procura dos SE de melhoria da qualidade do ar e sequestro de carbono baixa, porém no caso do serviço de regulação microclimática a sua procura é um pouco mais elevada, sendo máxima no SE de mitigação do ruído. Esta situação poderá ser explicada pela presença de escolas nas subsecções pertencentes ao grupo 7. Lembrando que, foi atribuída pontuação máxima a equipamentos suscetíveis à presença de ruído. Por último, com o menor nível de procura dos SE, e conseqüentemente com menor necessidade de implementação de soluções baseadas no ecossistema que promovam os SE, está o grupo 5, no qual se insere grande parte da área da Pedreira da Madalena.

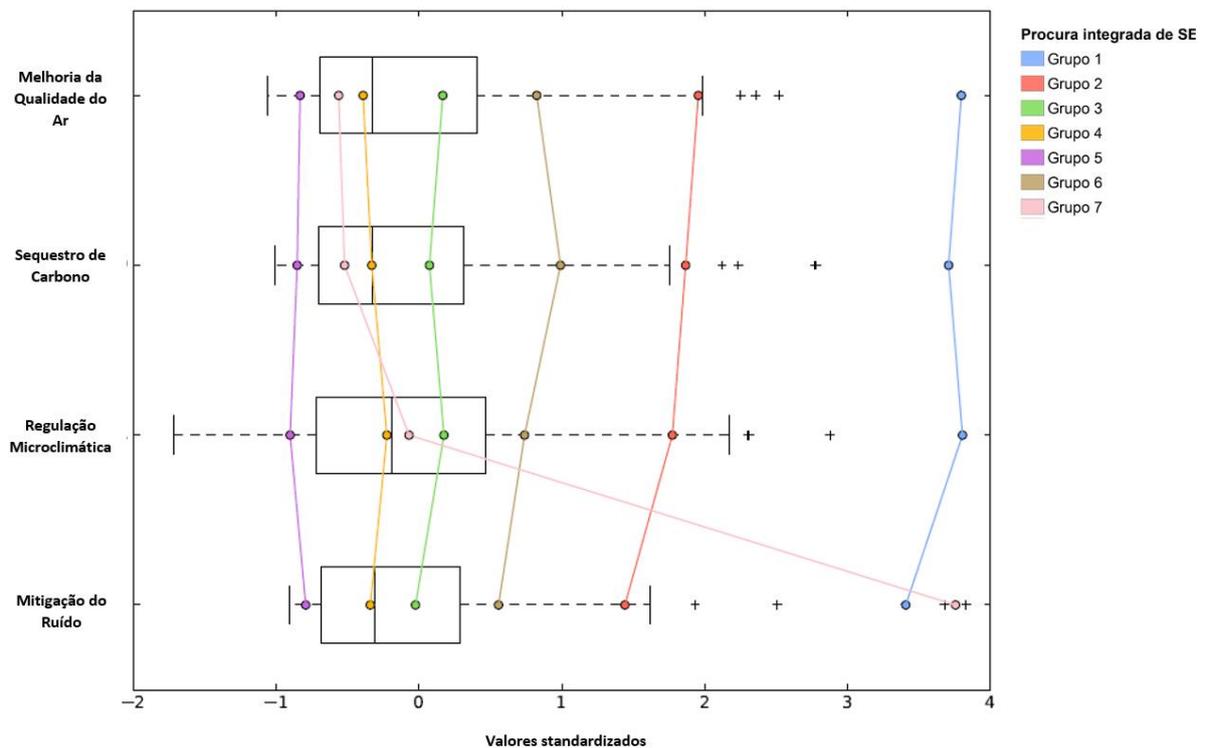


Figura 49 - Diagrama de quartis inerente ao mapa da 'procura integrada de SE'.

### 3. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA ABORDAGEM DO PLANEAMENTO BASEADO NO DESEMPENHO NA RECONVERSÃO DA PEDREIRA DA MADALENA

O capítulo 3 da parte II avalia o potencial da abordagem do PBD no caso de reconversão da Pedreira da Madalena. Primeiramente, escrutina-se a ‘procura integrada de SE’ na área de estudo em função da análise de clusters efetuada. Num segundo momento, procede-se à aplicação da metodologia proposta por Cortinovis e Geneletti (2020) à Pedreira da Madalena. Para validar esta metodologia selecionam-se duas áreas amostra complementares, localizadas na área de estudo, com similar classificação na Planta de Ordenamento do PDM de Vila Nova de Gaia.

#### 3.1. ANÁLISE POR GRUPOS

Para cada indicador de procura, comparou-se o valor médio dentro cada cluster/grupo com a média global (*Z-score*). O *Z-score* resultante foi classificado de acordo com as 5 classes (Tabela 18), conforme proposto por Cortinovis e Geneletti (2020). As classes correspondem aos *scores* obtidos pelas transformações urbanas na implementação de ações que potencializem a oferta do respetivo SE naquele cluster específico. A Tabela 27 reúne as pontuações associadas às ações baseadas no ecossistema em função de cada SE para os sete clusters.

Tabela 27 - Pontuações associadas às ações baseadas no ecossistema em função de cada SE para os sete grupos.

SE	Grupo						
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7
SC	4 (7,854)	4 (3,954)	1 (0,155)	0 (-0,702)	0 (-1,808)	3 (2,098)	0 (-1,105)
MQA	4 (5,865)	4 (3,020)	1 (0,255)	0 (-0,606)	0 (-1,287)	2 (1,272)	0 (-0,871)
RM	4 (6,761)	4 (3,151)	1 (0,309)	0 (-0,401)	0 (-1,605)	2 (1,312)	0 (-0,125)
MR	4 (3,948)	3 (1,670)	0 (-0,030)	0 (-0,396)	0 (-0,920)	1 (0,644)	4 (4,352)

Os valores entre parênteses correspondem ao *Z-score* obtido para cada SE em cada cluster (*vide* Tabela 18).

Em cada cluster o *Z-score* associado a cada SE traduz a maior ou menor necessidade de implementação de ações baseadas no ecossistema com vista à sua maximização. Neste sentido, quanto mais baixo for o *Z-score*, mais o cluster se encontra próximo do valor médio da área estudo, pelo que as ações baseadas no ecossistema não são valorizadas (pontuação = 0). Por sua vez, os grupos com *Z-score* muito elevado, verificam níveis de procura superiores à média da área de estudo, pelo que as ações baseadas no ecossistema são muito valorizadas, logo são priorizadas (pontuação =4). Com efeito, é importante salientar que as ações baseadas no ecossistema direcionadas para a maximização dos SE recebem uma pontuação diferente dependendo do perfil de procura do cluster em que são implementadas (Tabela 27). Caso não seja valorizada nenhuma ação baseada no ecossistema no cluster (isto é, em todos os SE a pontuação é 0), Cortinovis e Geneletti (2020) apontam para a consideração de medidas de compensação fora do local (*off-site*).

O grupo 1 apresenta *score* máximo de necessidade de intervenção para os quatro SE (Tabela 27 e Figura 50). A subsecção incluída no cluster 1 remete para uma área edificada e impermeabilizada com área residencial densa e presença de equipamentos de indústria e comércio, assim sendo os *scores* atribuídos em prol das ações baseadas nos SE eleitos patenteiam nível máximo de prioridade para qualquer um dos serviços.

O grupo 2 é composto por áreas com elevada procura de sequestro de carbono, bem como de regulação microclimática e melhoria da qualidade do ar. O serviço de mitigação do ruído, embora apresente uma pontuação de procura menor do que os restantes SE no mesmo grupo, a sua necessidade de intervenção não deve ser descurada, visto que o *Z-score* é bastante elevado quando comparado com os restantes clusters (Tabela 27 e Figura 50). Na generalidade, as áreas do grupo 2 correspondem a subsecções com elevado número de alojamentos, onde a melhoria dos SE contribuiria diretamente para o bem-estar da população residente.

O grupo 3 exhibe baixa procura dos SE de sequestro de carbono, melhoria da qualidade do ar e regulação microclimática. No caso específico da mitigação do ruído a procura é nula (Tabela 27 e Figura 50). As subsecções inseridas no cluster 3 não apresentam elevado número de alojamentos, nem de residentes, predominando o tecido urbano descontínuo de baixa densidade. Os baixos valores de população residente e habitação não requisitam grande prioridade na intervenção dos SE do local, segundo esta metodologia.

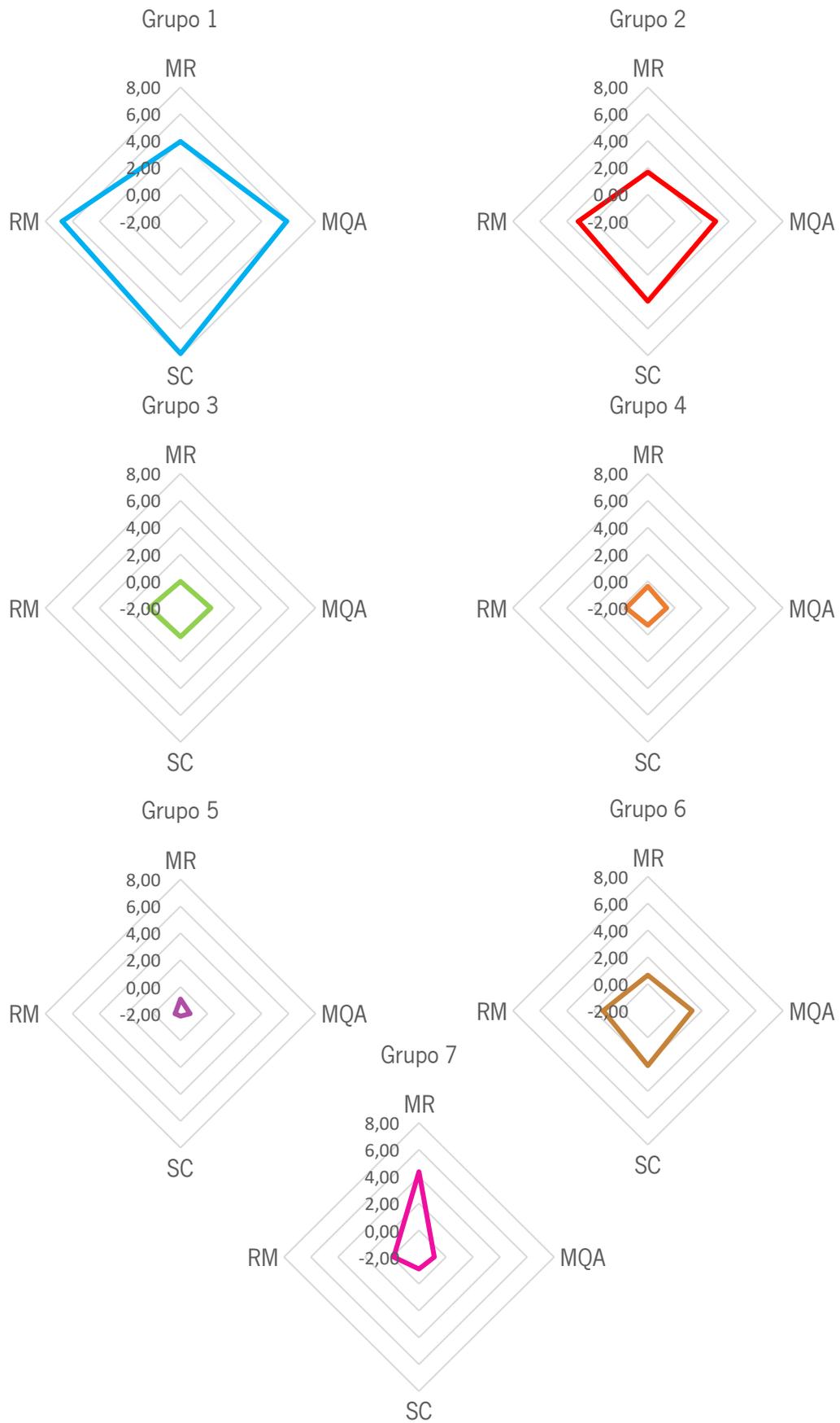


Figura 50 - Perfis de procura integrada de SE para os sete grupos (Z-scores).

Os grupos 4 e 5 agrupam as subsecções onde os SE eleitos não apresentam procura, ou esta é inferior à média da área de estudo (Figura 50). Deste modo, as ações baseadas no ecossistema direcionadas para a maximização dos SE em causa não são valorizadas (Tabela 27). Esta situação é explicada pela reduzida presença de população residente e pelo diminuto número de alojamentos, como sucede na Pedreira da Madalena, inserida na combinação destes dois clusters. Simplificando, se não houver 'procura' a metodologia aplicada remete para a consideração de medidas de compensação fora do local, de modo a mitigar carências de oferta de SE verificadas noutros locais. Contudo, este tipo de análise pode negligenciar algumas situações que no presente não exibem procura, mas onde no futuro se prevê a implantação de áreas residenciais que certamente irão interferir na procura dos SE, como sucede precisamente na Pedreira da Madalena.

O grupo 6 ostenta diferentes níveis de prioridade (Tabela 27 e Figura 50). Em primeiro lugar está o SE de sequestro de carbono, seguido pelos serviços de remoção de poluentes atmosféricos e regulação microclimática com nível intermédio de necessidade de intervenção, em último lugar da lista surge a mitigação do ruído. A análise do mapa da procura integrada permite constatar que as subsecções englobadas neste grupo remetem para pequenas áreas de tecido urbano descontínuo de densidade variável, algumas áreas abandonadas e espaços verdes urbanos. A existência de tecido urbano contribui para que se verifique alguma procura por determinados SE, sendo de salientar a presença relevante de grupos populacionais vulneráveis (nomeadamente, idosos) nas subsecções inseridas no cluster 6.

Por último, o grupo 7 exhibe uma distribuição peculiar, uma vez que a procura é nula para todos os SE eleitos, exceto para a mitigação do ruído, que apresenta um nível de prioridade máximo (Tabela 27 e Figura 50). A valorização das ações baseadas no ecossistema que potenciam a absorção acústica decorre da presença de equipamentos de educação – edifícios muito suscetíveis à presença de ruído.

### 3.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA À PEDREIRA DA MADALENA E A DUAS ÁREAS COMPLEMENTARES PARA VALIDAÇÃO

A aplicação da metodologia proposta por Cortinovis e Geneletti (2020) à Pedreira da Madalena constitui um dos objetivos específicos desta dissertação, sendo que para maior elucidação e validação desta metodologia se definiram duas áreas de amostra complementares (Figura 51).

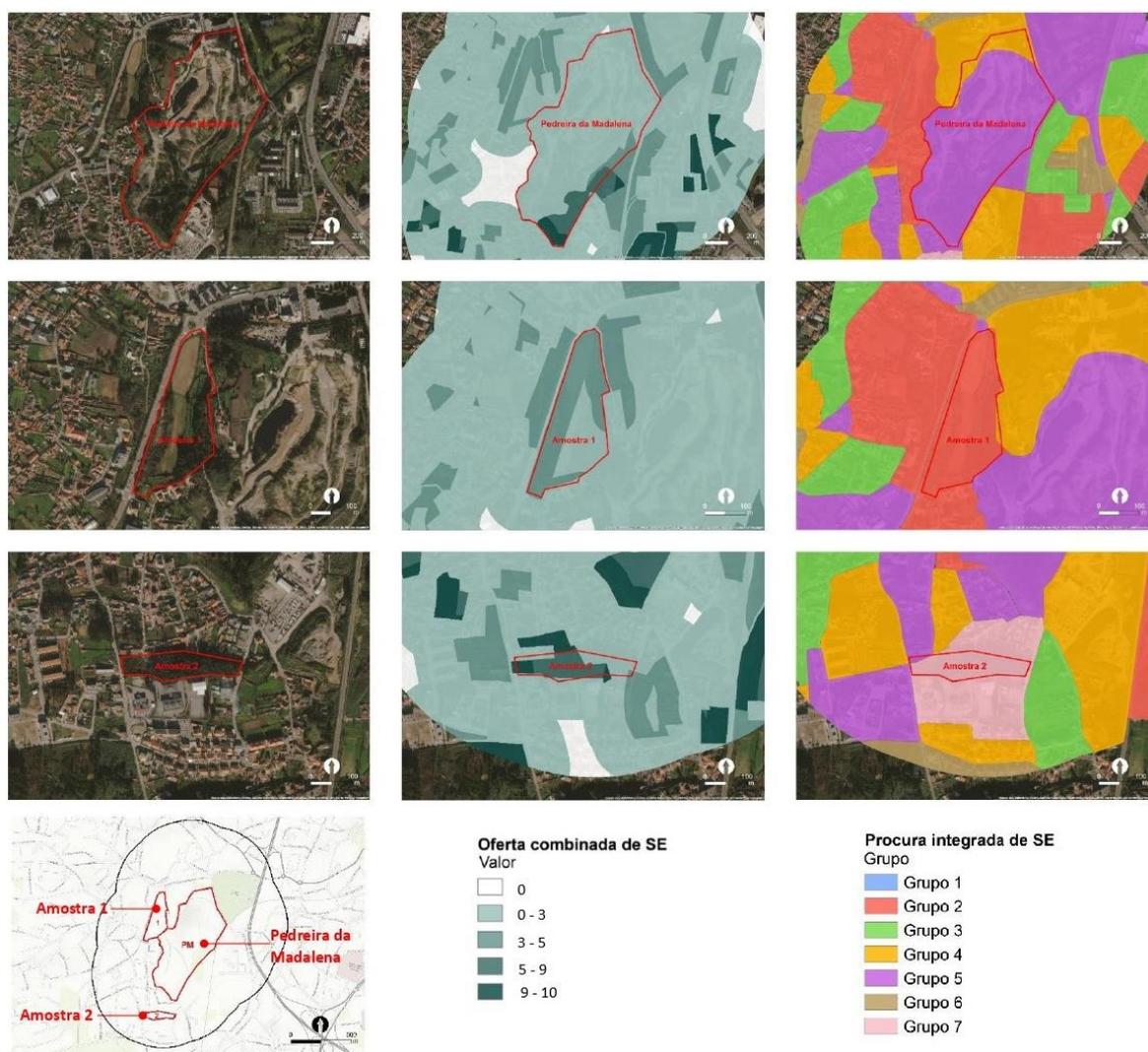


Figura 51 - Transformações urbanas selecionadas para validar a abordagem metodológica implementada (painel esquerdo) e respetivos mapas de 'oferta combinada de SE' (painel central) e de 'procura integrada de SE' (painel direito).

A aplicação da metodologia proposta requer a análise integrada de vários *outputs* já escrutinados, nomeadamente: o mapa da 'oferta combinada de SE' (*vide* Figura 36), cujo valor médio da área de transformação determina o impacto esperado sobre a atual oferta de SE e, consequentemente, o nível de desempenho (*score*) que o projeto deve obter (*vide* Tabela 16); e o mapa da 'procura integrada de

SE' (*vide* Figura 48), que define as pontuações atribuídas (*scores*) às ações baseadas no ecossistema em função dos níveis de prioridade dos SE visados em cada cluster (*vide* Tabela 18).

A Pereira da Madalena detém um valor médio de 'oferta combinada de SE' de 2,74 – logo a transformação urbana é classificada como tendo um impacto esperado 'médio', pelo que o projeto necessita de obter um *score* de 4 pontos para ser aprovado (Figura 52 – [A]). Como esta área se encontra integrada nos grupos 4 e 5 (com comportamento similar), onde as ações baseadas no ecossistema com vista à maximização de qualquer um dos SE selecionados não são valorizadas (Figura 52 – [B] e [C]) – a aprovação do projeto, segundo a metodologia, encontra-se dependente da aplicação de medidas de compensação noutra local.

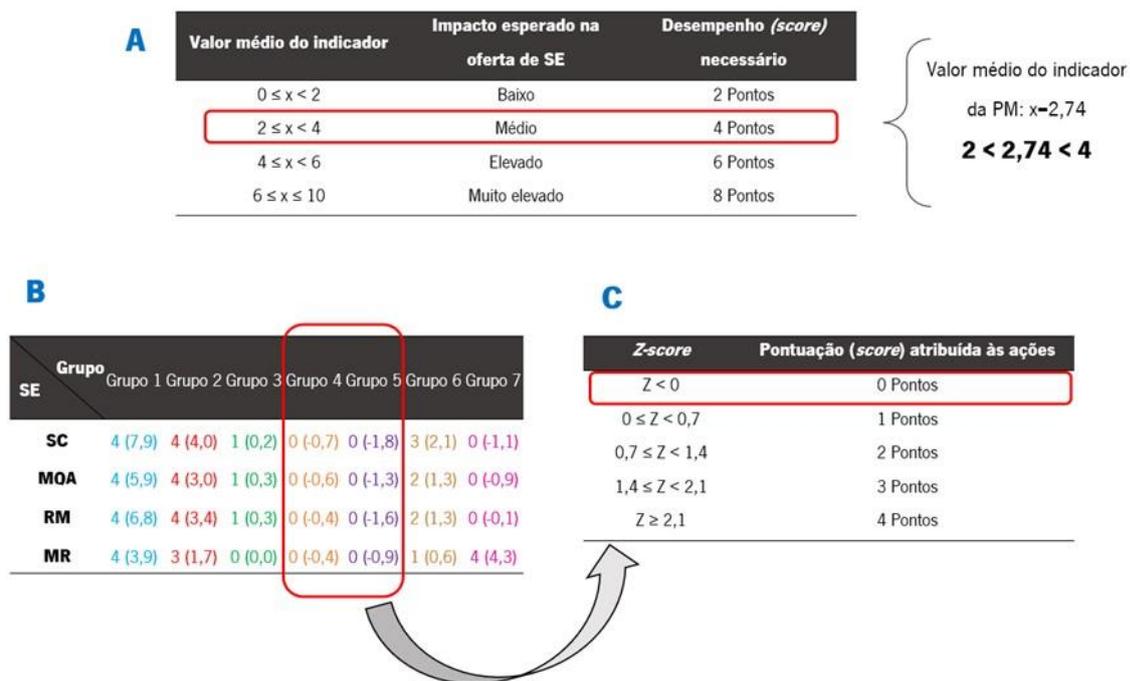


Figura 52 - Esquematização do emprego das Tabelas 16 e 18 da metodologia proposta: obtenção das classificações de 'desempenho necessário' [A] e da 'pontuação atribuída às ações' [C] para a área da Pedreira da Madalena (pertencente aos grupos 4 e 5 do mapa da procura integrada dos SE) [B].

A área da amostra 1 apresenta um valor médio de 'oferta combinada de SE' de 3,26 – pelo que a transformação apresenta um impacto esperado 'médio', logo para o projeto ser aprovado necessita de obter um *score* de 4 pontos (*vide* Tabela 16). Como se insere na sua totalidade no grupo 2 (Figura 51), são priorizadas (4 pontos) as ações baseadas no ecossistema que maximizem os SE de sequestro de carbono, regulação microclimática e melhoria da qualidade do ar. A mitigação do ruído obtém um *score* mais baixo (apenas 3 pontos). Com feito, para o projeto atingir o nível de desempenho exigido, a

transformação urbana deverá implementar pelo menos uma ação destinada a fortalecer um dos três SE considerados prioritários no cluster. Esta maximização dos SE na área da amostra 1 beneficiaria não só os futuros residentes, como também contribuiria para atenuar as injustiças ambientais verificadas nas subsecções envolventes, nomeadamente nas integrantes do grupo 2, onde a procura de SE é elevada.

A amostra 2 detém um valor médio de 'oferta combinada de SE' de 4,76 – o mais elevado das três áreas em que a metodologia foi aplicada. Por conseguinte, é esperado que a transformação urbana tenha um impacto 'elevado' na oferta de SE, pelo que o projeto necessita de obter um *score* de 6 pontos (*vide* Tabela 16). Desta vez, a amostra insere-se no grupo 7 (Figura 51) do mapa da procura integrada, onde apenas se destaca a procura dos serviços relativos à mitigação do ruído (4 pontos). Os restantes *Z-scores* são negativos (*score* nulo), pelo que ações que visem esses SE não são valorizadas. Neste caso, o nível de desempenho necessário não é preenchido apenas com a implementação de ações no local de implantação do projeto. Assim sendo, a compensação fora do local constitui a alternativa. Por exemplo, no cluster 6 o SE de melhoria da qualidade do ar apresenta uma pontuação de 2 pontos, com a sua adição o projeto já perfazeria os 6 pontos exigidos ao nível de desempenho. A mesma lógica de compensação poderia ser aplicada em relação à área da amostra da Pedreira da Madalena no grupo 5, que exhibe um *score* necessário de 4 pontos, inaplicável no cluster em que se insere, mas assim como no exemplo anterior, poderia ser feito um ajuste com um dos serviços prioritários da amostra 1 do grupo 2, que por sua vez exhibe grande procura de SE.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

*“O planeamento de longo prazo não lida com decisões futuras, mas com o futuro de decisões presentes.” - Peter Drucker*

Neste estudo adotou-se uma metodologia inovadora assente no conceito de PBD, que realiza uma avaliação da oferta e da procura dos SE de regulação eleitos (Figura 53). O objetivo geral remete para a maximização dos SE perante a perspetiva de uma futura transformação urbana na área de estudo, com a reconversão da Pedreira da Madalena. Para operacionalizar esta abordagem, desenvolveram-se duas ferramentas: o mapa de ‘oferta combinada de SE’ e o mapa de ‘procura integrada de SE’.

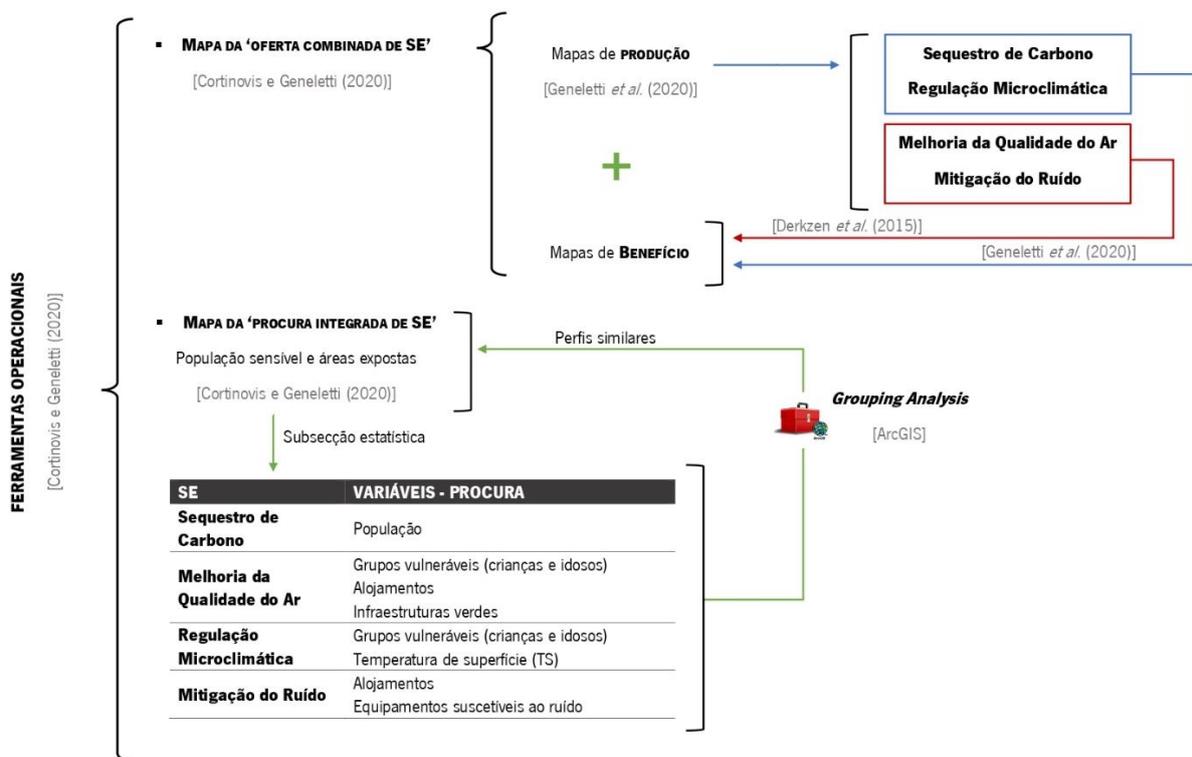


Figura 53 - Metodologia proposta: Ferramentas operacionais.

No decorrer do estudo verificou-se que as áreas urbanizadas e industriais, com pouca ou nenhuma vegetação, apresentavam valores baixos no que diz respeito à ‘oferta combinada de SE’. Os valores elevados surgem associados aos espaços verdes urbanos, bem como a remanescentes arborizados ou com vegetação arbustiva, especialmente quando estes se localizam nas proximidades dos eixos rodoviários, onde produção e benefício se intercetam.

O mapa da ‘procura integrada de SE’ permitiu quantificar os níveis de procura específicos de cada cluster. Desta forma, tornou-se viável identificar os SE mais necessários, bem como priorizar as ações baseadas

no ecossistema, sem esquecer que a pontuação atribuída a cada ação depende do perfil de procura do cluster no qual se encontra implementada.

Na área de estudo, cada SE foi priorizado em pelo menos um cluster. As medidas que promovem o sequestro de carbono, a melhoria da qualidade do ar e a regulação climática surgiram como prioridade nos Grupos 1 e 2 (pontuação=4), por sua vez as ações de mitigação do ruído foram prioritárias nos Grupos 1 e 7 (pontuação=4). Para locais onde a procura de SE é reduzida (pontuação=0), como sucedeu nos Grupos 4 e 5 da área de estudo, Cortinovis e Geneletti (2020) sugerem que sejam implementadas soluções de compensação *off-site*.

A Pedreira da Madalena apresentou um valor de 'oferta combinada de SE' de 2,74, o que permite afirmar que uma intervenção urbana neste local terá um impacto esperado 'médio'. Assim sendo, o desempenho de qualquer intervenção urbana deverá corresponder a uma pontuação mínima de 4 pontos, para que esta possa ser aprovada. Todavia, como a pedreira se encontra integrada na sua totalidade nos Grupos 4 e 5, não é possível obter esta pontuação a partir da implementação no local de medidas que promovam os SE. Como referido, tal sucede porque na situação atual se verifica uma procura reduzida de SE, pelo que deveriam ser pensadas medidas de compensação *off-site* aquando da intervenção urbana na Pedreira da Madalena, de acordo com Cortinovis e Geneletti (2020). Contudo, no caso particular da reconversão da Pedreira da Madalena para área urbana, esta conclusão é inadequada, pois não só se deverão preservar os maciços arbóreos aí existentes, como contemplar obrigatoriamente a criação de novos espaços verdes que promovam uma maior oferta de SE. Este incremento de SE deverá ir de encontro com a procura atual na área envolvente à pedreira (já conhecida), bem como a futura procura decorrente da nova urbanização.

Complementarmente, validou-se a metodologia através do estudo de duas áreas amostra.

A área denominada por amostra 1 apresentou um valor de 'oferta combinada de SE' de 3,26. Uma intervenção urbana neste local terá também um impacto esperado 'médio', e como tal necessita igualmente de efetuar uma pontuação mínima de 4 pontos. Nesta área, por estar inserida no Grupo 2, são valorizadas ações baseadas no ecossistema que promovam ou o sequestro de carbono, ou a melhoria da qualidade do ar, ou ainda a regulação microclimática, uma vez que basta promover o desempenho de um destes SE para obter os 4 pontos mínimos necessários à aprovação do projeto. Ações que promovam a mitigação do ruído, que apenas fornecem 3 pontos, são por sua vez insuficientes para este efeito.

Na área da amostra 2 o valor de 'oferta combinada de SE' de 4,76 indica que uma intervenção urbana neste local terá um impacto esperado 'elevado', pelo que o projeto necessita de obter um mínimo de 6

pontos para conseguir aprovação. Parte destes pontos poderia ser conseguida por via da implementação de medidas que promovam a mitigação do ruído, já que no Grupo 7 apresentam uma valoração de 4 pontos. Contudo, como este total é insuficiente para a aprovação do projeto torna-se necessário, uma vez mais, a conjugação com soluções de compensação *off-site*. No caso da amostra 2 esta conclusão já se demonstra adequada, pois dificilmente se poderão criar novos espaços verdes, devendo a aposta ser dirigida para a salvaguarda das áreas arborizadas já existentes.

A implementação da abordagem adotada na área de estudo, considerando quatro SE urbanos e simulando a aplicação em três áreas, para as quais está prevista o mesmo tipo de transformação urbana no âmbito do PDM de Vila Nova de Gaia, mostrou ter aplicabilidade, porém também algumas limitações. Em relação ao seu potencial para a adoção como ferramenta de planeamento, a metodologia adotada revelou ter algumas falhas ao nível do aproveitamento de determinados locais para melhoria dos SE, uma vez que atribui demasiada importância à situação atual. O foco na procura atual não permite acautelar situações futuras, como no caso da Pedreira da Madalena, cuja procura de SE muito reduzida no presente irá inevitavelmente aumentar após a sua urbanização. Atualmente, a pedreira por ser um local inóspito apresenta valores de procura para todos os SE analisados inferiores à média. A sugestão de compensação fora do local de interesse, segundo a metodologia adotada, pode não ser a solução mais adequada para todas as situações e acaba por descartar áreas de grande dimensão, como é o caso da antiga área de extração, com imenso potencial futuro para regulação dos SE locais.

Os resultados obtidos demonstraram que a conjugação dos SE com o PBD permitiu definir requisitos ecológicos locais, aos quais os projetos de urbanização, como por exemplo loteamentos, devem forçosamente atender, sem necessidade de recorrer aos indicadores rígidos e uniformes do zonamento, para que o interesse público e a resiliência do território não sejam comprometidos. Esta situação fica claramente patente na caracterização da procura dos SE, bem como na possibilidade de conjeturar medidas de compensação *off-site*, a definir e a localizar em concordância com as prioridades identificadas no território considerado.

O sistema de pontuação desenvolvido por Cortinovis e Geneletti (2020) permite efetuar uma avaliação baseada no desempenho dos SE, conferindo importantes indicações acerca das ações baseadas no ecossistema a priorizar em cada intervenção urbana, de acordo com os níveis de procura. O emprego desta metodologia ao processo de reconversão da Pedreira da Madalena confirma as suas potencialidades, mas também as fragilidades indicadas pelos autores. A primeira vulnerabilidade a apontar diz respeito ao processo de elaboração dos mapas de 'oferta combinada de SE' e de 'procura integrada de SE', que desde logo se revela moroso e complexo, o que pode constituir um entrave à sua

inclusão nos instrumentos de ordenamento do território. De igual modo, o facto de se basear exclusivamente na situação atual da procura, a aplicação desta metodologia apenas facultaria resposta aos déficits de oferta de SE já constatados no território, deixando em evidência a necessidade de incluir melhorias que assegurem igualmente a avaliação e a resposta associadas a transformações previstas, como no caso da Pedreira da Madalena.

Após uma reflexão aprofundada acerca das fragilidades acima mencionadas, foi possível concluir que a adoção, à escala municipal, do PBD se revelaria de grande complexidade e enfrentaria impedimentos diversos, uma vez que esta abordagem de natureza estratégica se afasta substancialmente do sistema de planeamento urbano atualmente implementado em Portugal, extremamente rígido e prescritivo. Neste contexto, a opção por uma versão híbrida, que articule as bases do planeamento tradicional com o PBD, poderia promover um ganho de eficiência na gestão do território, bem como uma maior inclusão das soluções baseadas na natureza nos projetos de transformação urbana. Desta forma, o PBD poderia funcionar como uma ferramenta de apoio ao planeamento prescritivo em unidades de planeamento de pequena dimensão, como a área em estudo na presente dissertação.

Note-se que o usufruto de SE, como a mitigação do ruído ou a remoção de  $PM_{10}$ , ocorre em escalas de proximidade ( $< 500$  m), pelo que a sua análise não requer a elaboração de mapas para áreas de referência mais amplas.

O PBD assume, assim, uma extrema utilidade na transformação urbana de pequenas áreas inseridas em contextos fortemente urbanizados. Nas quais inicialmente não se atendeu a questões relacionadas com os SE, não se promovendo devidamente as ações e soluções de regulação dos ecossistemas e conseqüentemente deteriorando gradativamente o ambiente e o bem-estar humano. Neste sentido, o PBD seria a peça-chave nos novos planos de urbanização ou projetos de loteamento, com intuito de impedir que as transformações urbanas dessas áreas perpetuassem os lapsos de outrora, bem como aproveitando a nova oportunidade para fomentar medidas de integração e melhoria dos SE locais, trazendo benefícios e mais valias para a população envolvente.

A inclusão do PBD no planeamento urbano, particularmente em pequenos projetos de urbanização/recuperação localizados em áreas urbanas consolidadas, contribuiria para a maximização dos SE nesses locais ou naqueles onde se verifica uma procura mais acentuada, por via implementação de medidas de compensação *off-site* – promovendo, em ambas as situações, uma distribuição mais igualitária no acesso aos benefícios de SE. Este incremento na justiça ambiental é fundamental para a construção de uma cidade mais justa, inclusiva e resiliente.

Na sequência das fragilidades apontadas e dos possíveis obstáculos à implementação da metodologia de Cortinovis e Geneletti (2020) como ferramenta base de planeamento urbano, apontam-se algumas propostas complementares que poderiam proporcionar uma maior consistência e robustez à sua adoção. A primeira sugestão prende-se com a incorporação do PBD em conceções de zonamento urbano para locais onde se prevê a implantação de projetos de urbanização de pequena dimensão. O zonamento, definido na Carta de Ordenamento do PDM, define a localização específica para as diversas atividades, assegurando a distribuição adequada dos usos do solo no território municipal. Além disto, estabelece os padrões urbanísticos que garantem as condições mínimas de habitabilidade e de suporte infraestrutural, fundamentais à eficiência e funcionalidade do município. Com efeito, e desde o início da sua conceção, que o principal objetivo do zonamento – o mais importante dispositivo legal que o planeamento urbano dispõem para implantação do plano (no caso o PDM) – se prende com a mediação de conflitos resultantes da disputa entre as vertentes económica, social e ambiental decorrentes do processo de urbanização. Contudo, a questão ambiental vem sendo profundamente negligenciada, como comprovam os graves problemas ambientais da atualidade, particularmente evidentes nas cidades (*e.g.*, poluição atmosférica, ilha de calor urbano, ruído). Portanto, uma versão de planeamento híbrida, na qual o zonamento urbano considera a procura de SE e promove a sua maximização, por via da valorização de ações baseadas no ecossistema, com a aplicação do PBD, poderia ajudar a colmatar algumas lacunas do regime prescritivo tradicional.

Para fomentar a adoção do PBD no planeamento tradicional é imprescindível expandir a quantidade e diversidade de casos de estudo de aplicação desta metodologia, com o intuito de averiguar as limitações e as situações que beneficiariam da sua aplicação. Neste contexto, lembrar que esta investigação revelou que quanto mais detalhado for o perfil de procura dos SE, mais os resultados serão direcionados para a realidade local, logo melhor servirão as necessidades da população. Efetivamente, quanto mais variado for o leque de experiências de aplicação da metodologia, mais fundamentada, concreta e apelativa esta se torna para os técnicos de planeamento. Para tal, é essencial que a investigação promova a sistematização metodológica, mas sobretudo a automatização do processo de obtenção das ferramentas operacionais – i.e., mapa de ‘oferta combinada de SE’ e mapa de ‘procura integrada de SE’.

Uma terceira perspetiva prende-se com a valorização que a metodologia adotada atribui às soluções baseadas no ecossistema na maximização de SE urbanos, nomeadamente em processos de transformações urbanas em áreas já consolidadas. As soluções baseadas no ecossistema encontram-se claramente dependentes da promoção da infraestrutura verde. Na criação de espaços verdes, além das tradicionais árvores isoladas, ruas arborizadas, canteiros e jardins, dever-se-á incluir parques urbanos.

Em áreas residenciais os parques atuam como um oásis no ambiente urbano, com efeitos ao nível da modelação da temperatura do ar, do controlo da poluição, do sequestro do carbono e da absorção do ruído (Eisenberg & Polcher, 2019). Somando-se outros efeitos benéficos, como a provisão de habitat e a criação de espaços de recreio e lazer, que fomentam a atividade física, contribuem para a redução dos níveis de stress, atenuam os problemas cardiovasculares, com reflexos no aumento do bem-estar e saúde humana (Eisenberg & Polcher, 2019). Sem embargo, tratando-se de transformações urbanas em áreas com tecido urbano muito consolidado, a aposta deve ser dirigida para a inserção de estruturas verdes verticais (*vertical greening*) ou de coberturas verdes (*green roofs*), que fomentariam o aumento da performance dos SE.

As estruturas verdes verticais promovem a melhoria da qualidade do ar e mitigam o ruído (Eisenberg & Polcher, 2019). Ademais, dependendo do tipo de vegetação, poderão ainda proporcionar o arrefecimento do ar e o sequestro de carbono (Eisenberg & Polcher, 2019). As coberturas verdes, ao armazenarem a água da chuva, promovem a evapotranspiração o que contribui para a redução da temperatura dos telhados e do ar. Para tal, contribui também a menor capacidade de absorção do calor, por comparação com as superfícies impermeáveis antrópicas – onde se desenvolve a ilha de calor urbano (Eisenberg & Polcher, 2019).

Em jeito de conclusão, os SE, aliados ao PBD, afiguram-se como um importante complemento ao atual regime prescritivo de planeamento na resolução dos problemas ambientais do antropoceno. É urgente planear o presente, para que no futuro a (in)existência de vida humana não seja um dos principais acontecimentos justificativos desta transição de época geológica. A valorização dos SE nos projetos de urbanização introduziria ganhos ambientais significativos. Efetivamente, o projeto de reconversão da Pedreira da Madalena revelou ser uma boa prova de conceito da abordagem metodológica desenvolvida, pois se a (futura) transformação urbana for concretizada com o intuito de obter o máximo desempenho possível dos SE e não se focar somente nos moldes de planeamento urbanístico tradicionais, gerar-se-iam proveitos ambientais na área de estudo, contrapondo a ideia pré-concebida da perda ecológica associada à consolidação urbana.

Planear o futuro nas decisões presentes é a chave para um ecossistema em harmonia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2021). Protocolo de Quioto. Consultado em <https://apambiente.pt/clima/protocolo-de-quioto> (acedido em setembro 2021).
- Agyeman, J., & Evans, B. (2004). 'Just sustainability': the emerging discourse of environmental justice in Britain?. *Geographical Journal*, 170(2), 155-164.
- Alcamo, J., Ash, N. J., Butler, C. D., Callicott, J. B., Capistrano, D., Carpenter, S. R., ... & Cropper, A. (2003). *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Washington DC: World Resources Institute, Island Press.
- Andrade, D., & Romeiro, A. (2009). *Serviços ecossistémicos e sua importância para o sistema económico e bem-estar humano. Texto para discussão*. IE/UNICAMP, Campinas.
- Araújo, M., Gomes, A., Chaminé, H., Fonseca, P., Pereira, L., & Jesus, A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozóica. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, 28, 79-105.
- Attenborough, K., Li, K., & Horoshenkov, K. (2007) *Predicting Outdoor Sound*, 1st ed. CRC Press.
- Baker, D., Sipe, N., & Gleeson, B. (2006). Performance-based planning: perspectives from the United States, Australia, and New Zealand. *Journal of Planning Education and Research*, 25(4), 396-409.
- Baró, F., Palomo, I., Zulian, G., Vizcaino, P., Haase, D., & Gómez-Baggethun, E. (2016). Mapping ecosystem service capacity, flow and demand for landscape and urban planning: A case study in the Barcelona metropolitan region. *Land use policy*, 57, 405-417.
- Bastos, M., & Silva, I. (2006). *Restauração, reabilitação e reconversão na recuperação paisagística de minas e pedreiras*. VISA Consultores.
- Beites, J. (2020). *Espaços verdes e justiça ambiental na cidade de Castelo Branco*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Algarve, Faro.
- Beretta, I. (2012). Some Highlights on the Concept of Environmental Justice and its use. *e-cadernos CES*, (17).
- Berke, P., & Conroy, M. (2000). Are we planning for sustainable development? An evaluation of 30 comprehensive plans. *Journal of the American Planning Association*, 66(1), 21-33.
- BGRI (2011). Consultado em <http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml> (acedido em janeiro de 2021).
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban áreas. *Ecological Economics*, 29(2), 293-301.

- Bowler, D., Buyung-Ali, L., Knight, T., & Pullin, A. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.
- Burkhard, B., de Groot, R., Costanza, R., Seppelt, R., Jorgensen, S., & Potschin, M. (2012). Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. *Ecological Indicators*, 21, 1-6.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., & Müller, F. (2014). Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape online*, 34, 1-32.
- Canadell, J., & Raupach, M. (2008) Managing forests for climate change mitigation. *Science*, 320(5882), 1456-1457.
- Carreto, A. (2012). Relatório Detalhado de Atividade Profissional 2006-2012. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Chaminé, H. (2000). Estratigrafia e estrutura da Faixa Metamórfica de Espinho – Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena): Implicações geodinâmicas. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto, Porto.
- Chaminé, H., Pereira, L., Fonseca, P., Noronha, F., & Sousa, M. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe*, 28, 37-78.
- Chaparro, L., & Terradas, J. (2009). Ecological services of urban forest in Barcelona. *Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona*.
- Comissão Europeia. (2015). Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. Final Report of the Horizon 2020. Expert group on ‘nature-based solutions and re-naturing cities’. Brussels.
- Constanza, R., Wainger, L., Folke, C., & Maler, K. (1993). Modeling complex ecological economic systems. *BioScience*, 43(8), 545-555.
- Copernicus (2021) Acerca do Copernicus. Consultado em <https://www.copernicus.eu/pt-pt/acerca-do-copernicus> (acedido em março de 2021).
- Correia, M. (2017). Impacto dos incêndios rurais sobre a regulação da qualidade da água e serviços ecossistémicos associados: avaliação biofísica e socioeconómica. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Correia, V., & Sousa, L. (2012). Recuperação ambiental e paisagística de pedreiras. Capítulo 18. In L. Sousa (Eds.). *Os granitos de Vila Pouca de Aguiar como fator de desenvolvimento regional. Uma abordagem multidisciplinar*, (pp. 237-250). Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Cortinovis, C., & Geneletti, D. (2019). A framework to explore the effects of urban planning decisions on regulating ecosystem services in cities. *Ecosystem Services*, 38, 100946,1-13.

- Cortinovis, C., & Geneletti, D. (2020). A performance-based planning approach integrating supply and demand of urban ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 201, 103842,1-14.
- Costa, C. (2007). *Disciplina de fundamentos de geotecnia. Capítulo 6 – Introdução à geotecnia ambiental*. Lisboa. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil.
- Costa, I. (2018). *Avaliação da relação entre a deposição de resíduos inertes na recuperação de uma pedreira e o estado qualitativo das águas subterrâneas*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Costa, J., & Teixeira, C. (1957). *Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 9-C: Porto*. Direcção Geral de Geologia e Minas, Serviços Geológicos de Portugal.
- Costa, J., Teixeira, C., & Medeiros, A. (1957). *Folha 09-C - Porto*. Geoport: Energia e Geologia. Consultado em [https://geoport.ineg.pt/pt/dados\\_abertos/cgp50k/09-C](https://geoport.ineg.pt/pt/dados_abertos/cgp50k/09-C) (acedido em dezembro de 2020).
- Costanza, R. (2001). Visions, Values, Valuation, and the Need for an Ecological Economics. *BioScience*, 51(6), 459-468.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *nature*, 387(6630), 253-260.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. *Ecosystem services*, 28, 1-16.
- Costanza, R., Wilson, M. A., Troy, A., Voinov, A., Liu, S., & D'Agostino, J. (2006). *The value of New Jersey's ecosystem services and natural capital*. University of Vermont.
- Davies, H., Doick, K., Hudson, M., & Schreckenberg, K. (2017). Challenges for tree officers to enhance the provision of regulating ecosystem services from urban forests. *Environmental Research*, 156, 97-107.
- Davies, Z., Edmondson, J., Heinemeyer, A., Leake, J., & Gaston, K. (2011). Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of applied ecology*, 48(5), 1125-1134.
- Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, Diário da República n.º 153/2009 – I Série, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa.

- Decreto-Lei n.º 340/2007, de 12 de outubro, Diário da República n.º 197/2007 – I Série, Ministério da Economia e da Inovação, Lisboa.
- Derkzen, M., van Teeffelen, A., & Verburg, P. (2015). Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 1020-1032.
- Direção-Geral do Território. (DGT). (2021). Plano de transformação da paisagem mobiliza parceiros. Consultado em <https://www.dgterritorio.gov.pt/Plano-de-transformacao-da-paisagem-mobiliza-parceiros> (acedido em setembro de 2021).
- Dobbs, C., Escobedo, F., & Zipperer, W. (2011). A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and urban planning*, 99(3-4), 196-206.
- EDM (2011). A Herança das Minas Abandonadas: O Enquadramento e a Atuação em Portugal. Empresa de Desenvolvimento Mineiro. Direção Geral da Energia e Geologia.
- Edmondson, J., Davies, Z., McHugh, N., Gaston, K., & Leake, J. (2012). Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific reports*, 2(1), 963, 1-7.
- Ehrlich, P., & Ehrlich, A. (1981). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House. New York.
- Eisenberg, B., & Polcher, V. (2019). *Nature Based Solutions–Technical Handbook*. UNaLab Horizon.
- Environmental Protection Agency. (EPA). (2021). Learn About Environmental Justice. Consultado em <https://www.epa.gov/environmentaljustice/learn-about-environmental-justice> (acedido em setembro de 2021).
- Escobedo, F., & Nowak, D. (2009). Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest. *Landscape and urban planning*, 90(3-4), 102-110.
- Escobedo, F., Seitz, J., & Zipperer, W. (2012). Carbon sequestration and storage by Gainesville's urban forest. University of Florida, Gainesville.
- Fang, C., & Ling, D. (2003). Investigation of the noise reduction provided by tree belts. *Landscape and urban planning*, 63(4), 187-195.
- Fang, C., & Ling, D. (2005). Guidance for noise reduction provided by tree belts. *Landscape and urban planning*, 71(1), 29-34.
- Fernandes, S. (2015). Plano ambiental e de recuperação paisagística de um campo de exploração de uma concessão mineira de caulino. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Figueiredo, J. (2001). Guia Técnico. Setor da Pedra Natural. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (INETI). Lisboa.

- Fisher, B., Turner, R., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653.
- Florestas (2021). O que são os serviços do ecossistema? Consultado em <https://florestas.pt/saiba-mais/o-que-sao-os-servicos-do-ecossistema/> (acedido a 18 de outubro de 2021).
- Frew, T., Baker, D., & Donehue, P. (2016). Performance based planning in Queensland: A case of unintended plan-making outcomes. *Land use policy*, 50, 239-251.
- Gaudereto, G., Gallardo, A., Ferreira, M., Nascimento, A., & Mantovani, W. (2018). Avaliação de serviços ecossistémicos na gestão de áreas verdes urbanas: promovendo cidades saudáveis e sustentáveis. *Ambiente & Sociedade*, 21. São Paulo, Brasil.
- Geneletti, D., Cortinovis, C., Zardo, L., & Esmail, B. (2020). Planning for ecosystem services in cities. Springer Nature.
- Georgescu, M., Morefield, P., Bierwagen, B., & Weaver, C. (2014). Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(8), 2909-2914.
- Gill, S., Handley, J., Ennos, A., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. *Built environment*, 33(1), 115-133.
- Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245.
- Gonçalves, S. (2014). Contributo para o plano de gestão ambiental do núcleo de pedreiras das Pedras Finas. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo.
- Guedes, J. (2020). Pedreira da Madalena - Objeto Mutante da Indústria Extrativa. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto, Porto.
- Guedes, J., Pinto, F., Carvalho, J., & Leite, A. (2020). A Pedreira da Madalena: um caso exemplar da Indústria Extrativa em Portugal.
- Guiomar, N. (2005). Modelo de análise espacial em sistemas de informação geográfica para requalificação biofísica de explorações mineiras. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In D. Raffaelli & C. Frid (Eds.), *Ecosystem Ecology: a new synthesis* (pp. 110–139). Cambridge: Cambridge University Press.
- Holt, A., Mears, M., Maltby, L., & Warren, P. (2015). Understanding spatial patterns in the production of multiple urban ecosystem services. *Ecosystem services*, 16, 33-46.

- Hostetler, M., & Escobedo, F. (2010) What Types of Urban Greenspace Are Better for Carbon Dioxide Sequestration?. University of Florida, Gainesville
- Irvine, K., Devine-Wright, P., Payne, S., Fuller, R., Painter, B., & Gaston, K. (2009). Green space, soundscape and urban sustainability: an interdisciplinary, empirical study. *Local environment*, 14(2), 155-172.
- Jo, H., & McPherson, G. (1995). Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management*, 45(2), 109-133.
- Kain, J., Larondelle, N., Haase, D., & Kaczorowska, A. (2016). Exploring local consequences of two land-use alternatives for the supply of urban ecosystem services in Stockholm year 2050. *Ecological Indicators*, 70, 615-629.
- Kraemer, M. (2000). *Gestão ambiental: um enfoque no desenvolvimento sustentável*.
- La Rosa, D., & Pappalardo, V. (2020). Planning for spatial equity - A performance based approach for sustainable urban drainage systems. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101885,1-14.
- Langemeyer, J., Gómez-Baggethun, E., Haase, D., Scheuer, S., & Elmqvist, T. (2016). Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *Environmental Science & Policy*, 62, 45-56.
- Laranjeira, M., & Pinheiro, C. (2018). Serviços ecossistêmicos de regulação em Braga: o impacto das mudanças na cobertura/uso do solo entre 1900 e 2012. In A. Miranda, M. Lopes, L. Tarelho, F. Martins, P. Roebeling, M. Coelho, & J. Labrincha (Eds.), *Ambiente e Direitos Humanos, Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, Volume I*, (pp. 505-514). Aveiro: Universidade de Aveiro.
- Larondelle, N., & Lauf, S. (2016). Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales. *Ecosystem Services*, 22, 18-31.
- Leitão, A., & Varela, E. (2020). Performance based planning of complex urban social-ecological systems: The quest for sustainability through the promotion of resilience. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102089,1-10.
- Leitao, B. (2015). *Avaliação económica e espacial de serviços de produção: o caso do Alto-Minho*. Dissertação de Doutoramento. Universidade de Vigo, Vigo.
- Lung, T., Lavallo, C., Hiederer, R., Dosio, A., & Bouwer, L. (2013). A multi-hazard regional level impact assessment for Europe combining indicators of climatic and non-climatic change. *Global Environmental Change*, 23(2), 522-536.

- Maas, J., Verheij, R., Groenewegen, P., de Vries, S. & Spreeuwenberg, P. (2006) Green space, urbanity, and health: how strong is the relation? *Journal of epidemiology and community health*, 60(7), 587-592.
- Madureira, H. (2016). Promover os serviços ecossistémicos urbanos com infraestruturas verdes. In L. Lourenço (Coords.), *Geografia, Paisagem e Riscos: Livro de homenagem ao Prof. Doutor António Pedrosa*, (pp.141-161). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Martins, L. (2018). *Potencialidades do Campo Experimental em Lavra de Minas da FEUP*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Martins, L., & Sousa, L. (2012). Impactes ambientais resultantes da atividade extrativa. Capítulo 14. In L. Sousa (Eds.). *Os granitos de Vila Pouca de Aguiar como fator de desenvolvimento regional. Uma abordagem multidisciplinar*, (pp. 187-198). Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Mascarenhas, A., Haase, D., Ramos, T., & Santos, R. (2019). Pathways of demographic and urban development and their effects on land take and ecosystem services: The case of Lisbon Metropolitan Area, Portugal. *Land Use Policy*, 82, 181-194.
- Mazza, L., Bennett, G., De Nocker, L., Gantioler S., Losarcos L., Margerison C., Kaphengst T., McConville A., Rayment M., ten Brink P., Tucker G., & van Diggelen, R. (2011). *Green infrastructure implementation and efficiency*. Brussels and London: Institute for European Environmental Policy.
- McPhearson, T., Andersson, E., Elmqvist, T., & Frantzeskaki, N. (2015). Resilience of and through urban ecosystem services. *Ecosystem Services*, 12, 152-156.
- McPhearson, T., Kremer, P., & Hamstead, Z. (2013). Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social–ecological approach in urban vacant land. *Ecosystem Services*, 5, 11-26.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being*. United States of America: Island press.
- Monteiro, R. (2008). *Estudo geológico e geotécnico de taludes rochosos em S. Pedro da Afurada (Vila Nova de Gaia): contributos para a avaliação da estabilidade estrutural*. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico do Porto, Porto.
- Moroni, S. (2015). Complexity and the inherent limits of explanation and prediction: Urban codes for self-organising cities. *Planning theory*, 14(3), 248-267.
- Moroni, S., & Cozzolino, S. (2019). Action and the City: Emergence, Complexity, Planning. *Cities*, 90, 42–51.
- Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2000). The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In M. Hansen & T. Burk (Eds.), *Integrated tools for natural resources*

- inventories in the 21st century. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: US Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. (pp.714-720)., 212.
- Nowak, D., & Crane, D. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental pollution*, 116(3), 381-389.
- Nowak, D., Greenfield, E., Hoehn, R., & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental pollution*, 178, 229-236.
- Pelorosso, R. (2020). Modeling and urban planning: A systematic review of performance-based approaches. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101867,1-11.
- Pelorosso, R., Gobattoni, F., & Leone, A. (2017). The Low-entropy city: A thermodynamic approach to reconnect urban systems with nature. *Landscape and Urban Planning*, 168, 22–30.
- Pereira, E., Miranda, H., & Leite, A. (2000). Caracterização Geológico/Estrutural da Pedreira Quinta do Moinho-Canidelo-Vila Nova de Gaia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Pereira, H., Domingos, T., Vicente, L., & Proença, V. (2009). Ecosistemas e bem-estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment. Escolar Editora, 734, Lisboa.
- Plano Diretor Municipal (PDM) de Vila Nova de Gaia. (2009). Aviso n.º 14327/2009, de 12 de agosto. Consultado em <https://www.gaiurb.pt/pages/743> (acedido em setembro de 2020).
- Pouyat, R., Yesilonis, I., & Nowak, D. (2006). Carbon storage by urban soils in the United States. *Journal of Environmental Quality*, 35, 1566-1575.
- Raciti, S., Hutrya, L, Rao, P. & Finzi, A. (2012) Inconsistent definitions of “urban” result in different conclusions about the size of urban carbon and nitrogen stocks. *Ecological Applications*, 22(3), 1015–1035.
- Raciti, S., Hutrya, L., & Finzi, A. (2012). Depleted soil carbon and nitrogen pools beneath impervious surfaces. *Environmental Pollution*, 164, 248-251.
- Rebelo, D., Morgado, M., Medina, J., Bonito, J., Marques, L., & Andrade, A. (2015). Materiais curriculares para um contexto geológico local: o caso da Pedreira da Quinta do Moinho (Vila Nova de Gaia). *Interacções*, 39, 322-342.
- Reid, C., O’neill, M., Gronlund, C., Brines, S., Brown, D., Diez-Roux, A., & Schwartz, J. (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental health perspectives*, 117(11), 1730-1736.
- Roy, S., Byrne, J., & Pickering, C. (2012). A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban forestry & urban greening*, 11(4), 351-363.

- Samara, T., & Tsitsoni, T. (2011). The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*, 59(1), 68-74.
- Schmidt, K., Sachse, R., & Walz, A. (2016). Current role of social benefits in ecosystem service assessments. *Landscape and Urban Planning*, 149, 49-64.
- Selmi, W., Weber, C., & Mehdi, L. (2013). Multifonctionnalité des espaces végétalisés urbains. *VertigO - La Revue Électronique en Sciences de l'environnement (en Ligne)*, 13(2).
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, 31(3), 221-235.
- Silva, C., Viegas, I., Panagopoulos, T., & Bell, S. (2018). Environmental justice in accessibility to green infrastructure in two European cities. *Land*, 7(4), 134.
- Silva, L., & Mendes, J. (2006). Determinação do índice de qualidade do ar numa cidade de média dimensão.
- SIMPLEX, 2016. Guião de Pedreiras. Direção Geral de Energia e Geologia. República Portuguesa da Economia.
- Sutherland, I., Villamagna, A., Dallaire, C., Bennett, E., Chin, A., Yeung, A., ... & Cormier, R. (2018). Undervalued and under pressure: A plea for greater attention toward regulating ecosystem services. *Ecological Indicators*, 94, 23-32.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). (2008). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity. An Interim Report*. European Commission, Brussels.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81(3), 167–178.
- Urban Atlas. (2018). Consultado em <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas> (acedido em dezembro de 2020).
- USGS - Earth Explorer (2018). Consultado em <https://earthexplorer.usgs.gov/> (acedido em outubro de 2020).
- Valadares, C. (2016). Recuperação Ambiental da Pedreira do Corgo do Lombo. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, Porto.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., & Verheyen, K. (2012). Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration*, 331(10), 2404-2425.

- Verheij, J. (2020). Justiça ambiental: Cidades mais sustentáveis e... justas. Consultado em <https://fes-portugal.org/justica-ambiental-cidades-mais-sustentaveis-e-justas/> (acedido em setembro de 2021).
- Vos, P., Maiheu, B., Vankerkom, J., & Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities: to tree or not to tree?. *Environmental pollution*, 183, 113-122.
- Walker, G. (2012). *Environmental justice: Concepts, Evidence and Politics*. Routledge.
- Webb, R., Bai, X., Smith, M., Costanza, R., Griggs, D., Moglia, M., Neuman, M., Newman, P., Newton, P., Norman, B., Ryan, C., Schandl, H., Steffen, W., Tapper, N., & Thomson, G. (2018). Sustainable urban systems: Co-design and framing for transformation. *Ambio*, 47(1), 57–77.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
- Wilby, R. (2003). Past and projected trends in London's urban heat island. *Weather*, 58(7), 251-260.
- Winkler, R. (2006). Valuation of ecosystem goods and services. Part 1: An Integrated dynamic approach. *Ecological Economics* 59(1), 82-93.
- World Health Organization (WHO). (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- World Health Organization (WHO). (2021). New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. Consultado em <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution> (acedido em novembro de 2021).
- Wright, W., Eppink, F., & Greenhalgh, S. (2017). Are ecosystem service studies presenting the right information for decision making?. *Ecosystem Services*, 25, 128-139.
- Xie, M., Wang, Y., Chang, Q., Fu, M., & Ye, M. (2013). Assessment of landscape patterns affecting land surface temperature in different biophysical gradients in Shenzhen, China. *Urban Ecosystems*, 16(4), 871-886.
- Yang, F., Lau, S., & Qian, F. (2011). Urban design to lower summertime outdoor temperatures: An empirical study on high-rise housing in Shanghai. *Building and Environment*, 46(3), 769-785.
- Yuan, F., & Bauer, M. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment*, 106(3), 375-386.
- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., & Van Eupen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem services*, 26, 225-235.